



SKRIPSI – ME141501

**ANALISA *SUPPRESSION DEVICE* SEBAGAI PEREDAM
VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV) PADA *FREE SPAN*
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

Anang Abdullah
NRP. 4212 100 005

Dosen Pembimbing
Taufik Fajar Nugroho, ST. M.Sc.
Ir. Dwi Priyanta, M.SE

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



FINAL PROJECT – ME141501

**ANALYSIS OF SUPPRESSION DEVICE FOR REDUCING
VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV) ON FREE SPAN USING
FINITE ELEMENT METHOD**

Anang Abdullah
NRP. 4212 100 005

Supervisors

Taufik Fajar Nugroho, ST. M.Sc.
Ir. Dwi Priyanta, M.SE

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUT OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA SUPPRESSION DEVICE SEBAGAI PEREDAM VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV) PADA FREE SPAN MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar sarjana teknik
pada
Bidang Studi Marine Machinery And System (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
ANANG ABDULLAH
NRP. 4212 100 005

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Skripsi :

1. **Taufik Fajar Nugroho, ST, M.Sc.**
NIP. 1976 0310 2000 03 1001
2. **Ir. Dwi Priyanta, M.SE.**
NIP. 1968 0703 1994 02 1003

**SURABAYA
JANUARI 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA SUPPRESSION DEVICE SEBAGAI PEREDAM
VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV) PADA FREE SPAN
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar sarjana teknik
pada

Bidang Studi Marine Machinery And System (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ANANG ABDULLAH
NRP. 4212 100 005

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST, MT.
NIP. 1977 0802 2008 01 1007

**SURABAYA
JANUARI 2016**

ANALISA SUPPRESSION DEVICE SEBAGAI PEREDAM VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV) PADA FREE SPAN MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama mahasiswa : Anang Abdullah
NRP : 4212 100 005
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Taufik Fajar Nugroho, ST., M.Sc.
2. Ir. Dwi Priyanta, M.SE

ABSTRAK

Pipa bawah laut merupakan suatu infrastruktur transportasi minyak dan gas sebagai alternative pengganti kapal *tanker*. Pipa bawah laut memerlukan disain dan proses instalasi yang teliti agar keseluruhan proses pembangunan pipa berhasil. Karena bentuk topografi dasar laut yang tidak rata maka mengakibatkan pipa mengalami *Free span*. *Free span* merupakan suatu kondisi yang dialami oleh pipa dimana posisi pipa mempunyai jarak atau *gap* dengan *seabed* yang ditumpu oleh dua tumpuan. *free span* beresiko mengalami getaran yang diakibatkan oleh adanya beban dinamis yaitu arus dan gelombang. Getaran yang terjadi merupakan dampak dari adanya fenomena *Vortex Induced Vibration* (VIV). *Vertex Induced Vibration* (VIV) merupakan masalah hidrodinamika yang harus diperhatikan pada instalasi pipa bawah laut dan bangunan lepas pantai. Fenomena VIV terjadi pada komponen yang berbentuk silindris yang disebabkan oleh arus laut, menyebabkan terjadinya getaran oleh pergerakan fluida yang mengenai pipa sehingga

menimbulkan *vortex* (ulekan) dibelakang dari arah datangnya arus. Salah satu cara untuk meredam atau mengurangi dampak VIV adalah dengan menambahkan *suppression device*. *Suppression device* VIV adalah suatu alat yang dipasang pada pipa pada instalasi pipa *offshore* yang berfungsi untuk meredam atau mengurangi dampak VIV. Salah satu simulasi yang digunakan untuk mengetahui karakteristik suatu fluida adalah dengan menggunakan (CFD) *Computational Fluid Dynamic*. (CFD) adalah salah satu cara untuk memprediksi fluida dan berbagai fenomena lain dengan penyelesaian menggunakan persamaan matematika. Dalam memecahkan suatu persamaan, CFD menggunakan beberapa metode salah satunya yaitu metode *Finite Element Methode* (FEM).

Dengan penambahan *suppression device* bisa menambah sisa waktu operasi pada free span yang terkena dampak VIV, pada kondisi free span kritis yang terkena VIV (*Vortex Induced Vibration*) mempunyai nilai *life time* pada **pipa polos 44,21 tahun**, pada pipa dengan ***Fairing* 53,09 tahun** dan pada pipa dengan ***Helical strike* 52,95 tahun**.

Kata kunci : Pipelines, Free span, VIV, Suppression Device, Life time

ANALYSIS OF SUPPRESSION DEVICE FOR REDUCING VORTEX INDUCED VIBRATION (VIV) ON FREE SPAN USING FINITE ELEMENT METHOD

Nama mahasiswa : Anang Abdullah
NRP : 4212 100 005
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Taufik Fajar Nugroho, ST., M.Sc.
2. Ir. Dwi Priyanta, M.SE

ABSTRACT

Subsea pipeline is an infrastructure of oil and gas transportation as an alternative replacing tanker vessels. Subsea pipeline requires meticulous design and installation process so that the whole of pipe laying succeeds. Because the seabed topography is uneven, pipes have free span. Free span is a condition suffered by a pipe in which the position of the pipe has a distance or gap with the seabed. Free span has a risk of undergoing vibration caused by the dynamic loads, which are current and wave. The vibration is the impact of phenomenon of Vortex Induced Vibration (VIV). Vortex Induced Vibration (VIV) is a hydrodynamic problem that must be considered in the installation of subsea pipeline and offshore building. VIV phenomenon occurs in the cylindrical component caused by ocean currents; it causes a vibration of fluid movement on the pipe, so it will cause a vortex behind the direction of the flow. One of the methods to reduce the impact of VIV is by adding a suppression device. VIV suppression device is a device mounted

on the pipe in the installation of offshore pipelines that function to reduce the impact of VIV. One of simulations used to determine the characteristic of a fluid is by using (CFD) Computational Fluid Dynamic. (CFD) is one of the ways to predict the fluids and characteristic of other phenomena by using mathematical equations completion. In solving an equation, CFD uses several methods; one of the methods is Finite Element Method (FEM). By adding of suppression device, it can increase the life time on a free span affected VIV, the condition of the critical free span affected VIV (Vortex Induced Vibration) has a life time value **44.21 years in normal pipe, 53.09 years in pipe with fairing and 52.95 years in pipe with helical strike.**

Keywords:

Pipelines, Free span, VIV, Suppression Device, Lifetime

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT tuhan semesta alam atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya serangkaian kegiatan penelitian dan penulisan laporan skripsi dengan judul “Analisa *Suppression Device* sebagai Peredam *Vortex Induced Vibration* (VIV) pada *Free Span* Menggunakan Metode Elemen Hingga” dapat terselesaikan.

Tugas akhir ini tidak hanya disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, akan tetapi juga diharapkan dapat dijadikan referensi dalam meningkatkan wawasan dan ilmu pengetahuan mengenai dunia teknik pada umumnya serta dunia kemaritiman pada khususnya.

Tentunya dalam pelaksanaan kegiatan ini terdapat beberapa pihak yang senantiasa memberikan dukungan seperti doa, semangat dan motivasi, sehingga dalam kesempatan ini penulis berkenan untuk mengucapkan ungkapan syukur dan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberi pertolongan dan pencerahan dalam setiap permasalahan yang dialami ketika melaksanakan penelitian.
2. Kedua orang tua penulis yaitu ayahanda Ma'fudz dan ibunda tercinta Siti Sofiyah serta kakak-kakak dan adik serta segenap keluarga yang senantiasa memberikan doa dan dorongan motivasi yang tidak ada hentinya.
3. Ferdina Syahnaz Hakim calon pendamping hidup, terima kasih atas senyum, semangat dan doa nya.
4. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
5. Bapak Dr. Eng. Trika Pitana, ST., M.Sc selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.

6. Bapak Taufik Fajar Nugroho, ST. MT. selaku dosen pembimbing pertama yang banyak memberikan ide, ilmu, arahan serta bimbingan selama proses perkuliahan dan dalam pengerjaan skripsi ini.
7. Bapak Ir. Dwi Priyanta, M.SE. selaku dosen pembimbing kedua yang senantiasa memberikan nasehat, semangat dan wawasan.
8. Segenap pengurus dan member Laboratorium Mesin Fluida yang telah menemani dan membantu dalam pengerjaan skripsi ini.
9. Rekan – rekan seperjuangan BISMARK 12 yang memberikan dukungan dan semangat tanpa batas.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala saran serta masukan yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan dan kemajuan dalam skripsi ini.

Semoga Allah SWT melimpahkan berkah dan rahmat-Nya kepada kita semua dan semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat dikemudian hari. Amin

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	5
1.3. Batasan Masalah	6
1.4. Tujuan Penelitian	6
1.5. Manfaat Penelitian	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Fenomena <i>Free Span</i>	7
2.2. Screening <i>free span</i>	8
2.3. <i>Respon medel free span</i>	9
2.4. <i>Vortex Induced Vibration (VIV)</i>	10
2.5. Parameter VIV	11
2.6. <i>Suppression Device VIV</i>	14
2.7. Dimensi <i>Suppression Device</i>	15
2.8. Instalasi <i>Suppression Device</i>	16
2.9. Post Installation untuk existing free span	17
2.10. Computational Fluid Dinamyc	23
2.11. Perhitungan <i>Faigue Life</i>	25
2.12. Estimasi sisa waktu operasi	26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1. Flow Chart pengerjaan Skripsi	27

3.2.	Tahap Pertama Pengerjaan Skripsi.....	29
3.3.	Tahap Kedua Pengerjaan Skripsi	30
3.4.	Tahap Ketiga Pengerjaan Skripsi	31
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		33
4.1.	Data Pipeline.....	33
4.2.	Diameter Luar Pipa	35
4.3.	Screening Free Span Level 1 (Geometry L/D < 30)...	36
4.4.	Screening Free Span Level 2 (Panjang maksimum kondisi Inline dan Cross Flow)	36
4.5.	Hasil Screening Free Span	42
4.6.	Pemodelan dan Simulasi Free Span	43
4.7.	Validasi Hasil Simulasi	48
4.8.	Respon Model	48
4.9.	Perhitungan Stress Range.....	49
4.10.	Pembacaan SN Curve.....	50
4.11.	Perhitungan Life Time	54
4.12.	Membandingkan Life Time.....	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		57
5.1.	Kesimpulan	57
5.2.	Saran	58
DAFTAR PUSTAKA		59
BIODATA PENULIS		61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi topografi bawah laut.....	1
Gambar 1.2 Jalur Pipa EJGP	2
Gambar 1.3 Jalur pipa Maleo field ke EJGP.....	3
Gambar 1.4 Berbagai macam suppression device VIV.....	4
Gambar 2.1 Ilustrasi Free span.....	7
Gambar 2.2 Cross flow respons model.....	9
Gambar 2.3 In-Line respons model	10
Gambar 2.4 Ilustrasi terjadinya VIV	10
Gambar 2.5 Bentuk aliran yang melewati silinder.....	11
Gambar 2.6 Respon model In-line VIV.....	14
Gambar 2.7 Cara kerja Helical Strike dalam mengurangi dampak VIV	15
Gambar 2.8 Standar dimensi Helical	16
Gambar 2.9 Standar dimensi Fairing	16
Gambar 2.10 Horizontal Remotly Installed VIVEquipment Tool (RIVET).....	18
Gambar 2.11 Triton 11 ROV	18
Gambar 2.12 HOS Dominator (Work Class ROV Vessel) ..	19
Gambar 2.13 Pemasang fairing pada Horizontal RIVET.....	20
Gambar 2.14 RIVET yang sudah terpasang fairing	20
Gambar 2.15 Pengangkatan RIVET untuk proses instalasi .	21
Gambar 2.16 RIVET sesaat sebelum melakukan Pemasangan.....	22
Gambar 2.17 RIVET selesai melakukan pemasangan fairing.....	22
Gambar 2.18 Bagan proses CFD	23
Gambar 2.19 Tahapan analisa yang harus dilalui dalam Ansys Fluent	24

Gambar 2.20 Kurva SN	26
Gambar 3.1 Flow chart pengerjaan skripsi	28
Gambar 3.2 Flow chart pengerjaan skripsi tahap pertama	29
Gambar 3.3 Flow chart pengerjaan skripsi tahap kedua	30
Gambar 3.4 Flow chart pengerjaan skripsi tahap ketiga	31
Gambar 4.1 Pemodelan pipa polos	44
Gambar 4.2 Pemodelan pipa dengan faring	45
Gambar 4.3 Pemodelan pipa dengan Helical	45
Gambar 4.4 Proses meshing pipa polos	46
Gambar 4.5 Input material	46
Gambar 4.6 Running perhitungan	47
Gambar 4.7 Hasil simulasi pipa polos	47
Gambar 4.8 Gambar hasil pembacaan grafik (A_v/D)	49
Gambar 4.9 Hasil pembacaan kurva SN	53

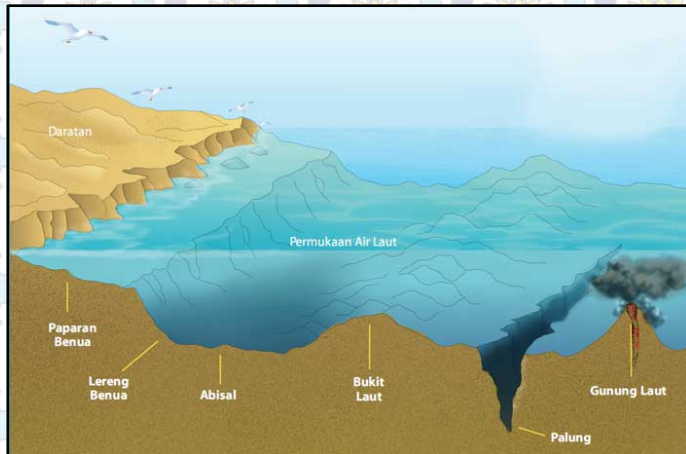
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Free Span	8
Tabel 4.1 Pipeline Material Properties Data	33
Tabel 4.2 Pipeline Corrosion Coating Design Data	34
Tabel 4.3 Pipeline Concrete Coating Design Data	34
Tabel 4.4 Seawater Properties	34
Tabel 4.5 Pipeline Wave and Current Data	35
Tabel 4.6 Hasil Simulasi Ansys.....	48
Tabel 4.7 Hasil Pembacaan Respon Model	49
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Stress Range.....	50
Tabel 4.9 Karakteristik material kurva SN	51
Tabel 4.10 Kurva SN dengan cathodic protection	51
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan ni	52
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan N	54
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Fatigue Damage	54
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Life Time	55

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pipa bawah laut merupakan suatu infrastruktur transportasi minyak dan gas sebagai alternative pengganti kapal *tanker*. Pipa bawah laut memerlukan disain dan proses instalasi yang teliti agar keseluruhan proses pembangunan pipa berhasil. Karena bentuk topografi dasar laut yang tidak rata maka mengakibatkan pipa mengalami *Free span*.



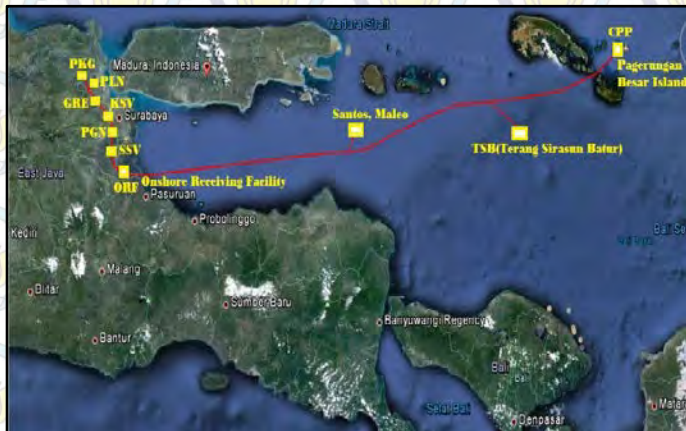
Gambar 1.1 Ilustrasi topografi bawah laut

(Sumber: <https://alamendah.files.wordpress.com/2015/01/topografi-laut.jpg>)

Free span merupakan suatu kondisi yang dialami oleh pipa dimana posisi pipa mempunyai jarak atau *gap* dengan *seabed* yang ditumpu oleh dua tumpuan. *Free span* sangat beresiko dan memiliki tingkat ancaman cukup tinggi yang bisa mengakibatkan pipa patah. *Free span* menimbulkan terjadinya *bending* sebagai akibat adanya beban statis dari pipa itu sendiri. Selain itu *free span* juga beresiko mengalami

getaran yang diakibatkan oleh adanya beban dinamis yaitu arus dan gelombang. Getaran yang terjadi merupakan dampak dari adanya fenomena *Vortex Induced Vibration (VIV)*.

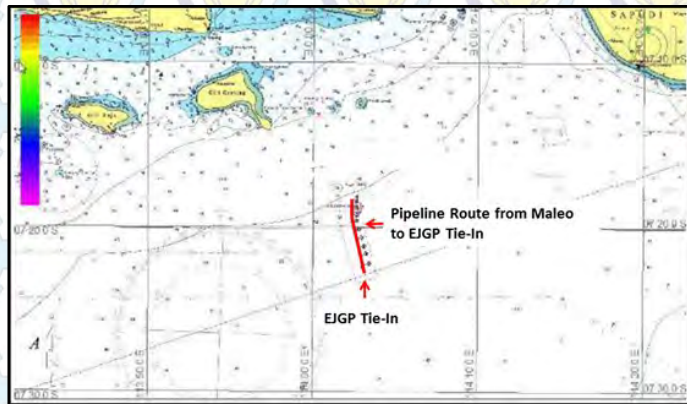
Salah satu jaringan pipa di Indonesia adalah EJGP (*East Java Gas Pipeline*) yang dimulai dari Pulau Pagerungan Besar ke PKG Gresik sepanjang 350 Kilometer dengan diameter 28 inchi. (Gambar 1.2.). Ada tiga *Gas producers* yang menggunakan EJGP untuk menyalurkan hasil gas mereka, mereka adalah KEI (*Kangean Energy Indonesia*) di Pagerungan and Terang Sirasun Batur, PGN (Santos) di Maleo MOPU dan PJU (Petrogas Jatim Utama). Kangean Energi Indonesia mengirim 15 MMscfd dari Pagerungan dan 250 MMscfd dari Terang Sirasun Batur dan PGN (Santos) mengirim 85 MMscfd gas dari Maleo field. Setiap hari kurang lebih 350 MMscfd di salurkan menggunakan EJGP. *Kangen Energy Indonesia* menggunakan EJGP untuk mengirim gas ke Petro Kimia Gresik dan Pembangkit Jawa Bali (PJB) di daerah Gresik. PGN (Santos) mengirim gas kepada *customer* di Porong Sidoarjo.



Gambar 1.2 Jalur Pipa EJGP

(Sumber: Dokumen *under water inspection service project Maleo Field* tahun 2013.)

Dari data survei *under water* yang dilakukan pada jalur Maleo Field ke EJGP sepanjang 7.353 km (Gambar 1.3) pada tanggal 25 Desember 2012 sampai dengan 21 Januari 2013 didapat data *free span* sebanyak 179 dengan karakteristik yang berbeda-beda.



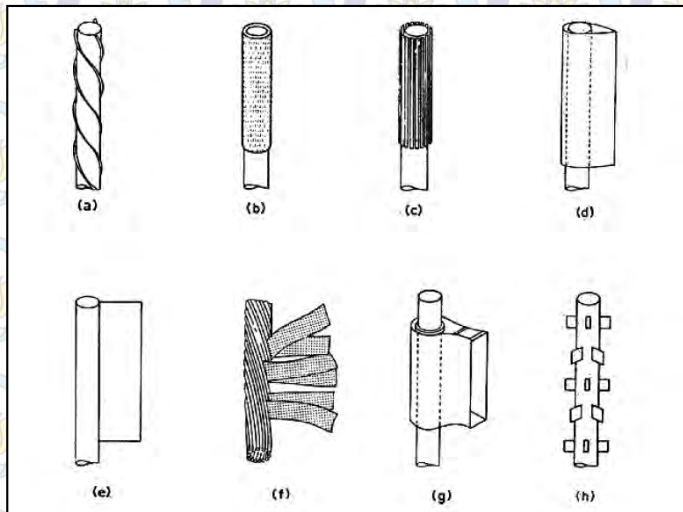
Gambar 1.3 Jalur pipa Maleo field ke EJGP

(Sumber: Dokumen *under water inspection service project Maleo Field* tahun 2013)

Vertex Induced Vibration (VIV) merupakan masalah hidrodinamika yang harus diperhatikan pada instalasi pipa bawah laut dan bangunan lepas pantai. Fenomena VIV terjadi pada komponen yang berbentuk silindris yang disebabkan oleh arus laut. Arus laut akan menyebabkan terjadinya getaran pada struktur yang disebabkan oleh pergerakan fluida yang mengenai pipa yang menimbulkan *vortex* (ulekan) dibelakang dari arah datangnya arus. Gaya yang ditimbulkan oleh *vortex shedding* akan berdampak lebih besar jika frekuensinya sama atau mendekati dengan frekuensi natural struktur, karena frekuensi yang sama akan menyebabkan terjadinya resonansi.

Resonansi yang terjadi akan berakibat getaran lebih kuat yang dapat menimbulkan *fatigue damage*. Fenomena ini juga dikenal sebagai lock-in yang artinya frekuensi *vertex shadding locked* ke dalam frekuensi alami *free span*. Salah satu cara untuk meredam atau mengurangi dampak VIV adalah dengan menambahkan *suppresion device*.

Suppression device (Gambar 1.4) VIV adalah suatu alat yang dipasang pada pipa pada instalasi pipa *offshore* yang berfungsi untuk meredam atau mengurangi dampak VIV. Ada beberapa jenis *suppresion device* seperti :



Gambar 1.4 Berbagai macam *suppression device* VIV.
(Sumber: Dalton, Charles. 2013)

Keterangan :

(a) *Helical stake*, (b) *Shroud*, (c) *Axial plates*, (d) *Streamline Fairing*, (e) *Splitter*, (f) *Ribbioned cable*, (g) *Pivoted guiding vane*, (h) *Spoiler plates*.

Dampak VIV semaksimal mungkin harus diminimalisir karena akan berdampak menurunkan kinerja struktur pipa yang menyebabkan *fatigue*/kelelahan yang pada akhirnya akan menurunkan *life time* atau waktu operasi. Oleh karena itu, penting bagi engineer untuk memprediksi metode apa yang cocok untuk meredam getaran yang diakibatkan oleh VIV. Salah satu simulasi yang digunakan untuk mengetahui karakteristik suatu fluida adalah dengan metode *Computational Fluid Dynamic*.

Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah salah satu cara untuk memprediksi fluida dan berbagai fenomena lain dengan penyelesaian menggunakan persamaan matematika. Dalam memecahkan suatu persamaan, CFD menggunakan beberapa metode salah satunya yaitu metode *Finite Element Methode* (FEM).

1.2. Perumusan Masalah

Free span harus bisa menahan beban dari luar seperti beban arus laut. Hal utama yang harus diperhatikan adanya *free span* adalah adanya fenomena *Vortex Induced Vibration*. Salah satu cara untuk meredam atau mengurangi dampak VIV adalah dengan menambahkan *suppresion device*. Dari berbagai model *suppression device* dipilih dua model yaitu *Helical strike* dan *Streamline fairing* karena untuk sekarang ini dua model tersebut sudah diproduksi dan digunakan secara luas.

Berdasar uraian diatas didapatkan hipotesa sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *suppression device* dalam mengurangi dampak dari VIV pada *free span*.
2. Berapa sisa waktu operasi *free span* dengan penambahan *suppresion device*
3. Membandingkan antara jenis *helical strike* dengan *streamline fairing* manakah yang paling baik dalam mengurangi dampak dari VIV

1.3. Batasan Masalah

1. Model *suppression device* yang di analisa adalah jenis *Helical strike* dan *Streamline fairing*.
2. Kondisi lingkungan yang dipertimbangkan adalah beban arus
3. Arus yang mengenai pipa adalah tegak lurus (90°)
4. Tumpuan pada free span diasumsikan tumpuan pin-pin
5. Tidak mengkaji beban yang berasal dari internal pipa
6. Data pipa yang digunakan sebagai objek penelitian adalah pipa milik Santos dari Maleo field ke EJGP milik Pertamina tahun 2013.
7. Tidak mengkaji dari sisi ekonomi.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan Penulisan skripsi ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh penggunaan *suppression device* dalam mengurangi dampak dari VIV pada *free span*
2. Mengetahui sisa waktu operasi/*life time* dengan adanya penggunaan *suppression device* pada *free span* sesuai DNV RP F105
3. Membandingkan *Helical strike* dengan *Streamline Fairing* sehingga didapat model yang paling efektif dalam meredam VIV

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan skripsi ini adalah :

Dengan membandingkan *Helical strike* dan *Streamline Fairing* diharapkan akan didapat satu model yang paling efektif dalam meredam dampak dari VIV. Selanjutnya penelitian ini dapat menjadi salah satu referensi dalam memilih model *suppression device* untuk rekayasa struktur anjungan migas lepas pantai.

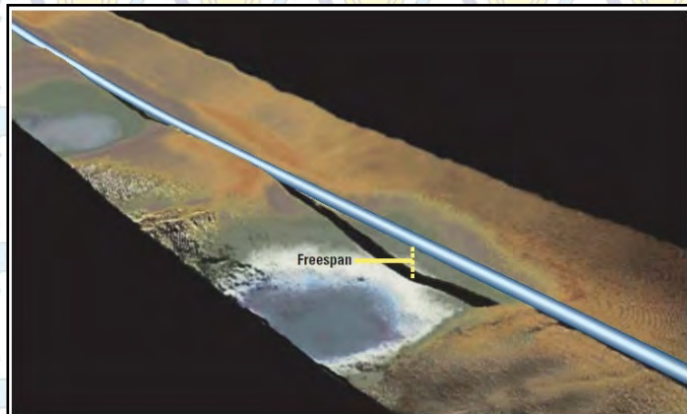
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Terdapat beberapa hal yang sangat penting terhadap transmisi gas dan minyak dengan menggunakan jalur pipa diantaranya adalah desain dari konstruksi jalur pipa, konstruksi, pengoperasian jalur pipa dan pemeliharaan, dan yang terakhir adalah perbaikan (*Duraidd Alkazraji. 2008*). Jalur pipa yang dilalui tidak selamanya rata karena mengikuti kontur dasar laut, sehingga dimungkinkan terjadinya bentangan akibat dasar laut yang tidak rata.

2.1. Fenomena *Free Span*

Free Span adalah kondisi dimana pipa mengalami bentangan dan mempunyai *gap* dengan dasar laut (Gambar 2.1). *Free span* sangat beresiko dan memiliki resiko untuk memiliki kegagalan. Salah satu resiko yang menyebabkan kegagalan adalah adanya fenomena *Vortex Induced Vibration* (VIV).



Gambar 2.1 Ilustrasi *Free span*
(Sumber: P. Albert, Alexander. 2011)

2.2. Screening free span

Tidak semua free span mempunyai resiko *fatigue* karena adanya beban yang mengenai pipa, sehingga perlu adanya screening sesuai dengan DNV RP F-105 *Free Spanning Pipeline* yaitu, screening pada kondisi statis dan screening pada kondisi dinamis. Untuk screening pertama yaitu pada kondisi statis yang didasarkan pada panjang free span dan diameter pipa (L/D). Sehingga free span yang tidak lolos, tidak akan dianalisa pada tahap selanjutnya. Tabel 2.1 menunjukkan karakteristik free span berdasar L/D .

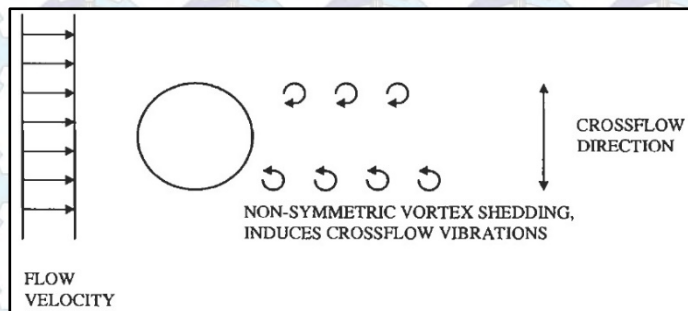
Tabel 2.1 Karakteristik Free Span
(Sumber: DNV RP F-105 Free Spanning Pipelines. 2006)

L/D	<i>Response description</i>
$L/D < 30$ ¹⁾	Very little dynamic amplification. Normally not required to perform comprehensive fatigue design check. Insignificant dynamic response from environmental loads expected and unlikely to experience VIV.
$30 < L/D < 100$	Response dominated by beam behaviour. Typical span length for operating conditions. Natural frequencies sensitive to boundary conditions (and effective axial force).
$100 < L/D < 200$	Response dominated by combined beam and cable behaviour. Relevant for free spans at uneven seabed in temporary conditions. Natural frequencies sensitive to boundary conditions, effective axial force (including initial deflection, geometric stiffness) and pipe “feed in”.

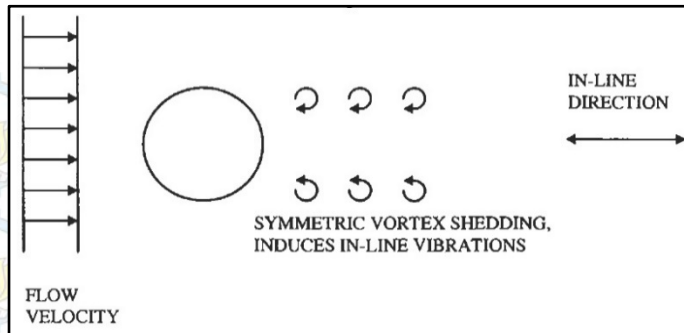
	Refer to 1.7 for free span response classification, which provides practical guidance for engineering applications, with respect to single and multi-mode response.
$L/D > 200$	Response dominated by cable behaviour. Relevant for small diameter pipes in temporary conditions. Natural frequencies governed by deflected shape and effective axial force.

2.3. Response model free span

Respon model adalah karakteristik *free span* akibat adanya aliran yang mengenai pipa, berdasar DNV RP F-105 ada dua respon model yaitu *cross flow* (Gambar 2.2) dan *In line* (Gambar 2.3.)



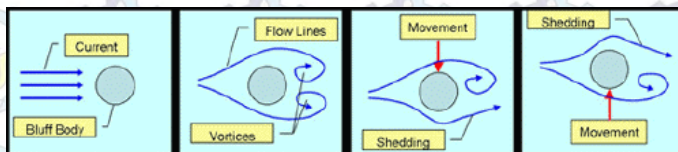
Gambar 2.2 Cross flow respons model
(Sumber: Bai, Yong. 2001)



Gambar 2.3 In-Line respons model
(Sumber: Bai, Yong. 2001)

2.4. Vortex Induced Vibration (VIV)

Vortex Induced Vibration (VIV) adalah fenomena bergetarnya suatu pipa yang diakibatkan adanya ulekan atau *vortex* yang berasal dari arus laut. Arus laut yang mengenai pipa akan membentuk ulekan (*vortex*) pada bagian belakang dari arah datangnya arus. Ulekan ini secara terus menerus akan mengenai pipa dan menyebabkan pipa bergetar (Gambar 2.4), bergetarnya pipa akibat ulekan arus laut inilah yang disebut dengan fenomena *Vortex Induced Vibration*.

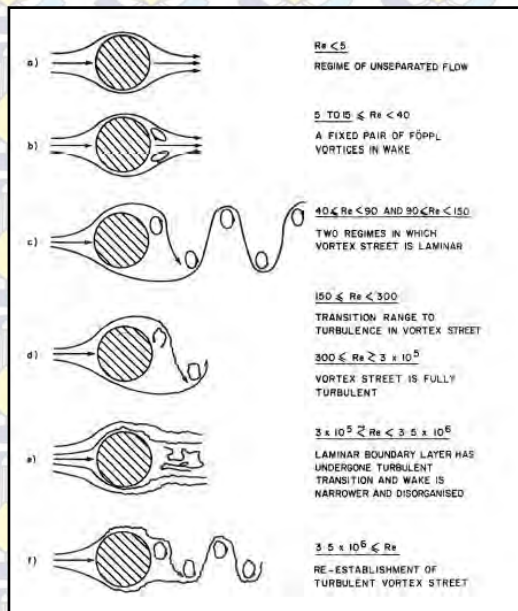


Gambar 2.4 Ilustrasi terjadinya VIV
(Sumber: http://blog.hasslberger.com200901vortex_induced_vibrations_to_g.html)

2.5. Parameter VIV

2.3.1. Reynold Number

Renould number (Re) merupakan nilai tak berdimensi yang mengidentifikasi jenis aliran fluida. Semakin kecil nilai *reynold number* maka jenis aliran yang terbentuk cenderung laminar sedangkan semakin besar nilai *reynold number* maka aliran yang akan terbentuk adalah turbulent. (Gambar 2.5)



Gambar 2.5 Bentuk aliran yang melewati silinder
(Sumber: Koushan, Kamran. 2009)

(Janardhanan, Aswin. 2014) melakukan analisa terhadap penggunaan *marine fairing* dengan memfariasikan *Reynolds number*. Dalam disertasinya dijelaskan bahwa nilai *Reynolds number* mempengaruhi *coeficien drag* dan amplitudo goyangan yang terjadi pada pipa. Dari konfigurasi pipa yang menggunakan *marine*

faring didapat nilai amplitudo goyangan yang lebih kecil dibandingkan dengan konfigurasi pipa tanpa penambahan *marine fairing*.

2.3.2. Natural Frequency

Frekuensi natural adalah frekuensi alami yang dimiliki oleh pipa tanpa adanya gangguan dari luar. Pada kasus pipa dikenal juga istilah frekuensi *vortex shedding* yaitu frekuensi yang dialami pipa akibat adanya vortex yang terbentuk. Jika nilai frekuensi natural mendekati nilai frekuensi vortex shedding maka akan terjadi fenomena lock in yaitu fenomena dimana frekuensi saling menguatkan sehingga mengakibatkan getaran yang lebih besar, tentu saja hal ini dihindari. Nilai natural frekuensi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$f_n = \frac{C_d}{2\pi} \sqrt{\frac{E I}{M_e L_{span}^4}} \quad (\text{persamaan 2.1})$$

(Guo, Boyun. 2005)

Keterangan :

C_d = Konstanta tumpuan

E = modulus elastisitas pipa

I = momen inersia

M_e = massa efektif pipa ($M_e = M_p + M_c + M_a$)

M_p = massa pipa

M_c = massa isi pipa persatuan panjang

M_a = massa tambahan persatuan panjang

2.3.3. Stability parameter

Adalah parameter yang mempresentasikan gerak pada pipa akibat vortex, yang simbolkan dengan K_s . Dapat di hitung menggunakan persamaan :

$$K_s = \frac{4 M_e \zeta_s}{\rho D^2} \quad (\text{persamaan 2.2})$$

(DNV RP F-105)

Keterangan :

M_e = massa efektif pipa

ζ_s = damping ratio

ρ = massa jenis air

D = diameter pipa

2.3.4. Vortex shedding frequency

Frekuensi vortex dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$f_s = \frac{S U}{D} \quad (\text{persamaan 2.3})$$

(Guo, Boyun. 2005)

Keterangan :

S = Strouhal Number

U = Kecepatan arus (m/s)

D = Diameter pipa terluar (m)

2.3.5. Reduced Velocity (V_R)

Reduced velocity adalah kecepatan arus yang berkurang pada lokasi terjadinya VIV. nilai V_R dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$V_R = \frac{U_c}{f_n D} \quad (\text{persamaan 2.4})$$

(DNV RP F-105)

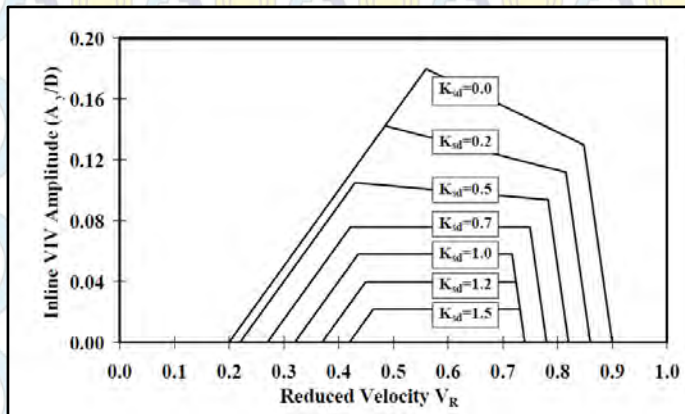
Keterangan :

U_c = kecepatan arus (m/s)

f_n = frekuensi alami (Hz)

D = Diameter pipa terluar (m)

Nilai V_R akan digunakan untuk mencari amplitudo yang diakibatkan VIV, yang nilainya didapat dari pembacaan (Gambar 2.6)

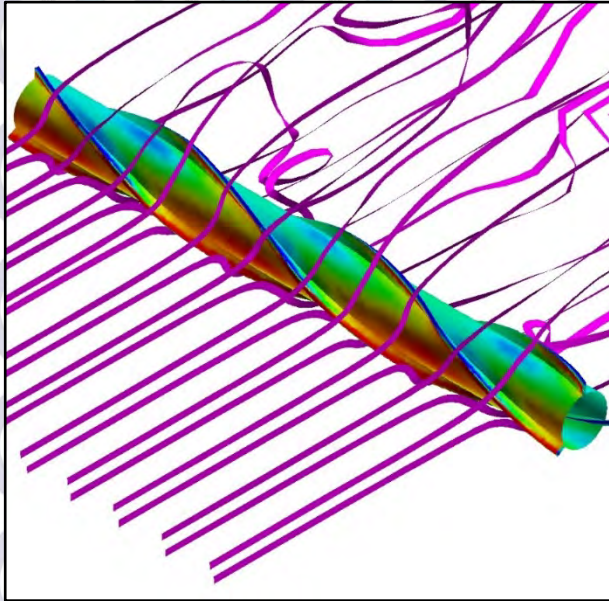


Gambar 2.6 Respon model *In-line* VIV
(Sumber: DNV RP F105. 2006)

2.6. Suppression Device VIV

Ada berbagai macam jenis Suppression device, seperti pada (Gambar 1.2) Untuk sekarang ini, jenis *Helical Strake* dan *Fairing* adalah yang sudah dikembangkan dan sudah dipakai secara luas. Secara umum cara kerja dari *suppression device* adalah menghilangkan vortex. Sebagai contoh (Gambar 2.7) pada jenis *Helical* yang merubah arah aliran

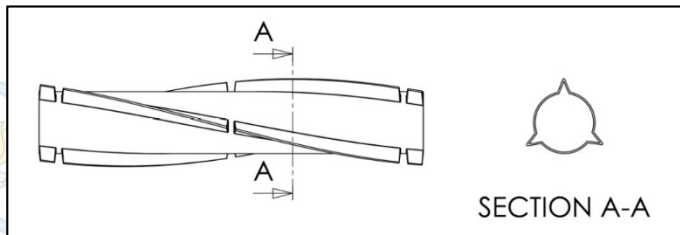
sehingga *vortex* yang seharusnya terjadi pada bagian belakang dari arah datangnya arus menghilang.



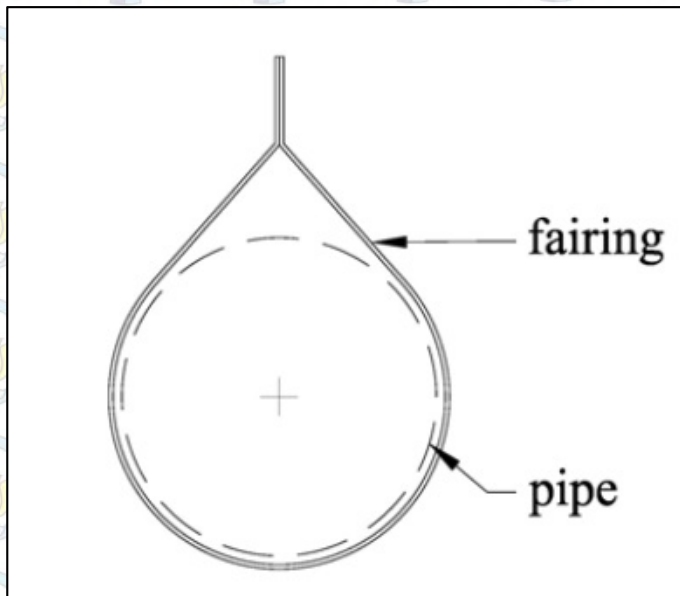
Gambar 2.7 Cara kerja *Helical Strike* dalam mengurangi dampak VIV
(Sumber: Schulz, Karl. 2000)

2.7. Dimensi Suppression Device

(Don W. Allen. 2008.) Banyak berbagai konfigurasi geometri dari *suppression device* jenis *helical* maupun *fairing*. Untuk jenis *helical* secara umum menggunakan tiga bintang, dengan tinggi *fin* $0,25 D$ dan *pitch* $17,5 D$. (Gambar 2.8). Untuk jenis *fairing* menggunakan chord $1,5 D$ (Gambar 2.9).



Gambar 2.8 Standar dimensi Helical
(Sumber: Don W. Allen, 2008)



Gambar 2.9 Standar dimensi Fairing
(Sumber: Don W. Allen, 2008)

2.8. Instalasi *Suppression Device*

Instalasi merupakan salah satu hal yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan jenis suppression device, karena proses instalasi merupakan tahap yang memerlukan waktu dan biaya yang besar (Don W. Allen, SGS, 2008). Ada

beberapa metode dalam instalasi *suppression device*, yaitu *surface installation* dan *post installation*.

Surface installation adalah proses instalasi *suppression device* yang dilakukan sebelum pipa dipasang dibawah laut (*pipe laying*) sedangkan *post installation* adalah melakukan instalasi *suppression device* setelah pipa terpasang, metode *post instalasi* digunakan untuk mitigasi *free span* yang diakibatkan oleh perubahan dasar laut. Hal ini dimungkinkan karena pada saat pemasangan pipa *free span* tidak muncul, akan tapi karena pengaruh lingkungan seperti arus, *scouring* sehingga muncul *free span*.

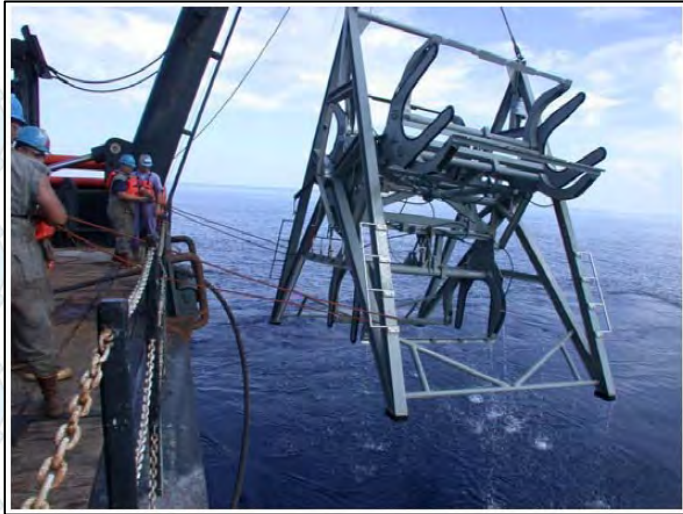
Surface installation terbagi menjadi dua yaitu *Yard installation* dan *Vessel installaion*. *Yard installation* memiliki beberapa keuntungan yaitu biaya yang relatif murah dan mengurangi kebutuhan pekerja.

2.9. Post Installation untuk existing free span

Salah satu kasus yang menggunakan metode *post installation* pada *free span* adalah pemasangan fairing untuk *existing horizontal pipelines spans* di Green Canyon Block 113, Gulf of Mexico oleh Global Solution. (Stephen P. Armstrong. 2004). Ini kali pertama Shell Global Solution melakukan pemasangan *suppression device* pada *existing horizontal pipelines spans*, sebelumnya Global solution sukses melakukan *post installation* untuk *steel catenary risers*.

Untuk melakukan *post installation* memerlukan peralatan sebagai berikut :

- a. *Horizontal RIVET* (Gambar 2.10) adalah suatu alat yang berfungsi sebagai tempat *suppression device* yang kemudian dengan bantuan ROV akan dipasang pada pipa.

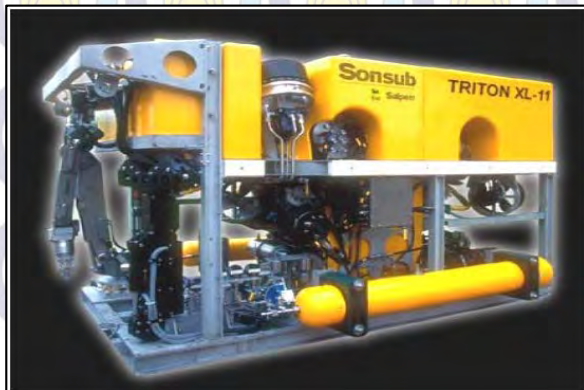


Gambar 2.10 Horizontal Remotely Installed VIV Equipment Tool (RIVET)

(Sumber: Stephen P. Armstrong. 2004)

b. ROV

ROV (*Remotely Operated Vehicle*) adalah robot yang memiliki kemampuan untuk melakukan kegiatan didalam laut yang dikendalikan dari permukaan melalui *remote control*.



Gambar 2.11 Triton 11 ROV
(Sumber: Stephen P. Armstrong. 2004)

c. Work Class ROV Vessel

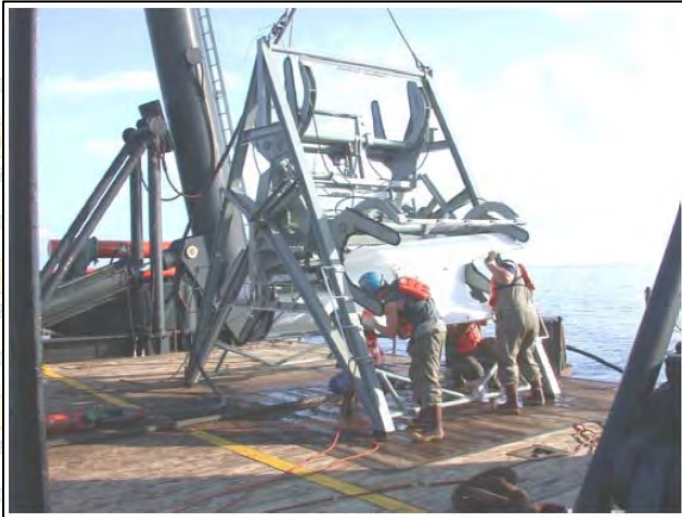
Adalah kapal yang mempunyai fasilitas untuk melakukan kegiatan dengan ROV. Salah satu contohnya adalah HOS Dominator. Merupakan kapal multi servis yang dimiliki oleh Sonsub Inc. Di sewa oleh Shell Global Solution untuk pemasangan fairing pada *existing free pan* di Block 113 Green Canyon.



Gambar 2.12 HOS Dominator (Work Class ROV Vessel)
(Sumber: Stephen P. Armstrong. 2004)

Berikut adalah proses pemasangan fairing (Gambar 2.13 – Gambar 2.17) pada *suspended gas export pipeline* di *Green Canyon Block 113* oleh *Shell Global Sollution*.

Langkah pertama adalah pemasangan fairing pada RIVET (Gambar 2.13) yang dilakukan diatas kapal HOS Dominator. Dalam satu RIVET dapat mengangkut 3 faring sekaligus.



Gambar 2.13 Pemasang fairing pada Horizontal RIVET
(Sumber: Stephen P. Armstrong. 2004)



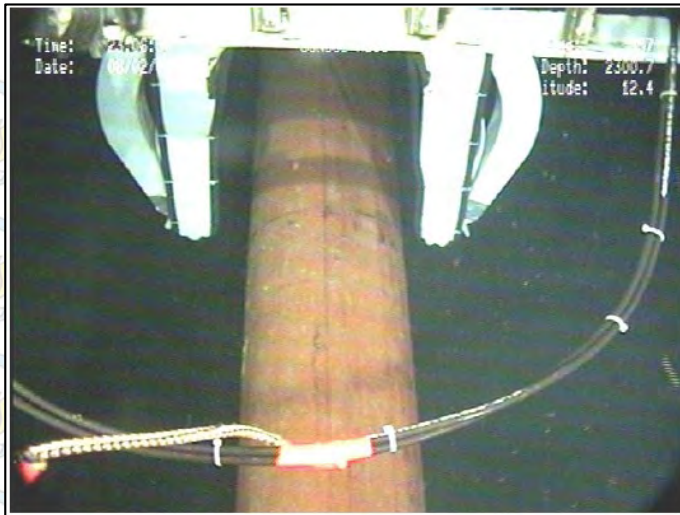
Gambar 2.14 RIVET yang sudah terpasang fairing
(Sumber: Stephen P. Armstrong. 2004)

Langkah berikutnya adalah menurunkan RIVET yang sudah terpasang fairing dengan bantuan *frame* yang terpasang di bagian *stern* dengan bantuan *winch*.



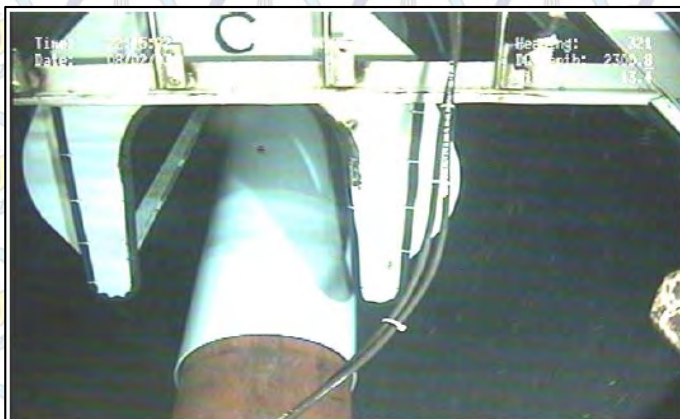
Gambar 2.15 Pengangkatan RIVET untuk proses instalasi
(Sumber: Stephen P. Armstrong. 2004)

Dengan bantuan ROV, RIVET yang sudah mendarat diatas pipa akan melakukan pemasangan fairing.



Gambar 2.16 RIVET sesaat sebelum melakukan pemasangan

(Sumber: Stephen P. Armstrong. 2004)



Gambar 2.17 RIVET selesai melakukan pemasangan fairing

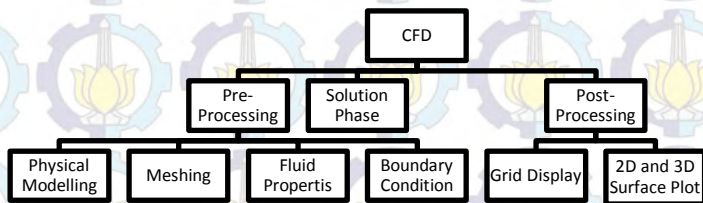
(Sumber: Stephen P. Armstrong. 2004)

2.10. Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) didefinisikan sebagai suatu cara yang digunakan untuk memprediksi fenomena fluida seperti aliran, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena fluida yang berhubungan dengan persamaan matematika.

Bagan cara kerja CFD

Secara umum langkah-langkah dalam menganalisa menggunakan *Finite Element Methode* ada tiga yaitu *Pre-processing*, *Solution Phase* dan *Post processing* seperti pada bagan dibawah ini :



Gambar 2.18 Bagan proses CFD

Pre-processing (*Define the problem*)

Pre-processing adalah langkah dimana menentukan kondisi dan model yang akan dianalisa, pada tahap ini ditentukan dimensi model, material, fluid properties, dan boundary condition.

Ada beberapa hal yang perlu diperhitungkan pada saat pembuatan model yaitu ukuran dan detail model yang akan dibuat yaitu menghilangkan detail pada model yang tidak penting karena dengan banyaknya detail pada model akan mempersulit pada saat proses meshing. Semakin banyak detail maka meshing perlu dibuat lebih kecil. Hal ini mengakibatkan

proses *running* model akan semakin lama dan membutuhkan memori lebih besar.

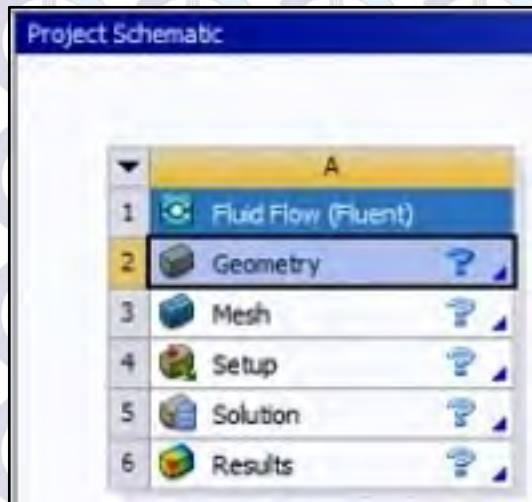
Solution Phase (assingning loads and solving)

Pada tahap ini model yang sudah di create akan dikenai beban dan akan dianalisa menggunakan Finite Element dari software CFD.

Post processing

Post-processing adalah proses menampilkan hasil dari *solving* model yang dilakukan pada tahan *solution phase*. Ansys memberikan beberapa pilihan dalam menampilkan hasil dari running model, seperti beberapa pandangan dari model dan bisa di ekspor ke dalam file video.

Ketiga langkah tersebut akan muncul ketika kita menjalankan *toolbox Fluent* yang ada pada Ansys (Gambar 2.19).



Gambar 2.19 Tahapan analisa yang harus dilalui dalam *Ansys Fluent*

2.11. Perhitungan *Fatigue Life*

Fatigue life atau sisa waktu operasi adalah jumlah dari siklus kelelahan yang terjadi pada suatu struktur hingga mengalami kegagalan. Perhitungan *fatigue life* menggunakan pendekatan kurva SN yang didasarkan pada hukum kegagalan kumulatif Palmgreen Miner.

Penilaian kelelahan dengan pendekatan Palmgreen Miner.

Berdasarkan DNV RP F105, untuk menentukan sisa waktu operasi harus dicari nilai D_{fat} , yang didapat dari persamaan 2.6.

$$D_{fat} = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (\text{persamaan 2.5})$$

(DNV RP F105)

Dimana :

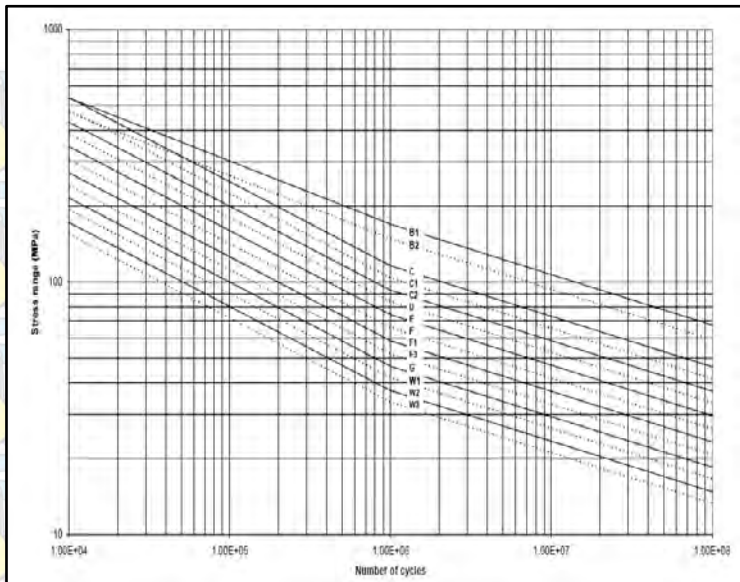
D_{fat} = Akumulasi kelelahan pada struktur pipa

n_i = Jumlah siklus stress pada stress range

N_i = Jumlah siklus menjadi gagal pada stress range

N_i (Number of cycles to failure)

N_i merupakan banyaknya siklus yang mengakibatkan pipa mengalami kegagalan. Nilai ini didapat dari pembacaan kurva SN. (Gambar 2.20)



Gambar 2.20 Kurva SN
(Sumber: DNV RP C203, 2011)

2.12. Estimasi sisa waktu operasi

Dalam melakukan perhitungan estimasi sisa waktu operasi menggunakan persamaan 2.8 yang merupakan fungsi dari fatigue damage dan estimasi waktu pada saat mendisain.

$$T_{life} = \frac{T_{exp}}{D_{fat}} \times \eta \quad (\text{persamaan 2.7})$$

(DNV RP F104)

Dimana :

T_{life} = Sisa waktu operasi

T_{exp} = Estimasi waktu pada saat mendisain

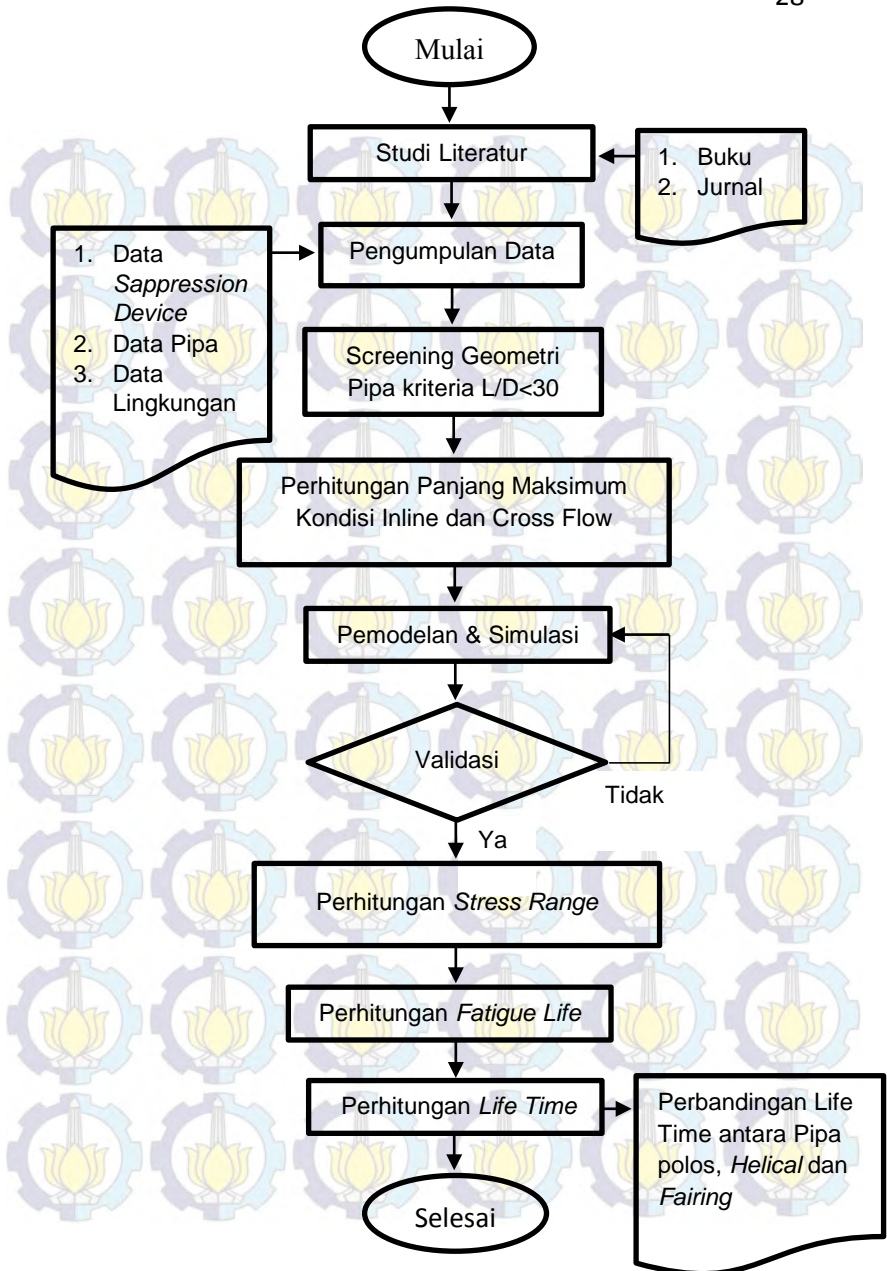
D_{fat} = Akumulasi kelelahan pada struktur pipa

η = safety factor

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

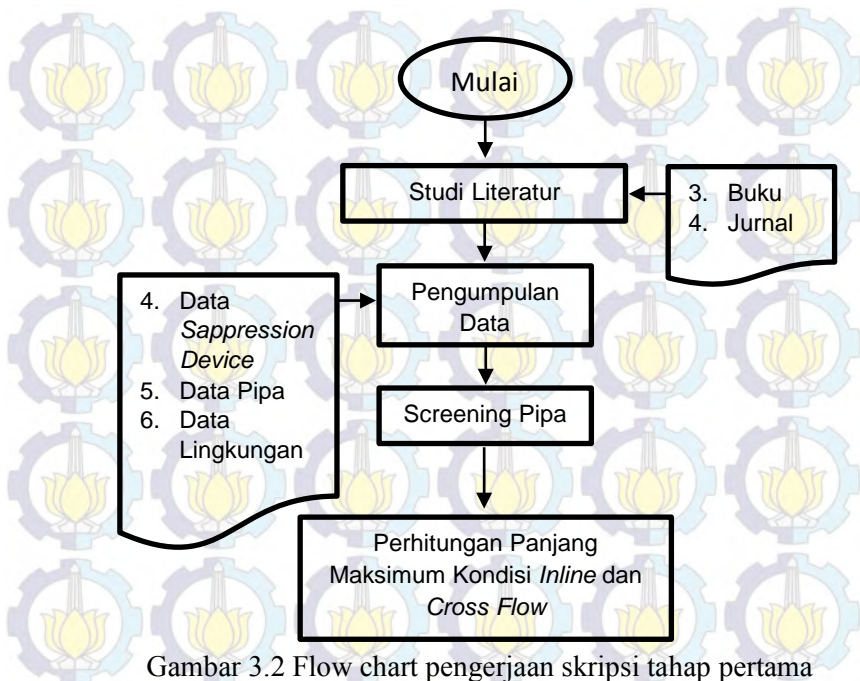
3.1. Flow Chart Pengerjaan Skripsi

Dalam pengerjaan skripsi ini, digunakan *flow chart* (Gambar 3.1) berupa studi literatur, perhitungan dan simulasi hingga mendapatkan hasil akhir. Secara garis besar tahap pengerjaan dibagi menjadi tiga. Tahap pertama (3.2) dilakukan *screening free span* sesuai dengan kriteria yang ada di DNV RP F-105 Free Spanning Pipelines yaitu *static screening* dan *dynamic screening*, selanjutnya langkah kedua (3.3) berupa simulasi dan pemodelan dari kritikal free span dan langkah terakhir (3.4) menghitung *life time* dari kritikal *free span* dengan kondisi tanpa *suppression device*, dan dengan penambahan *suppression device*, kemudian dibandingkan manakah yang mempunyai nilai *life time* paling besar.



Gambar 3.1 Flow chart pengerjaan skripsi

3.2. Tahap Pertama Pengerjaan Skripsi

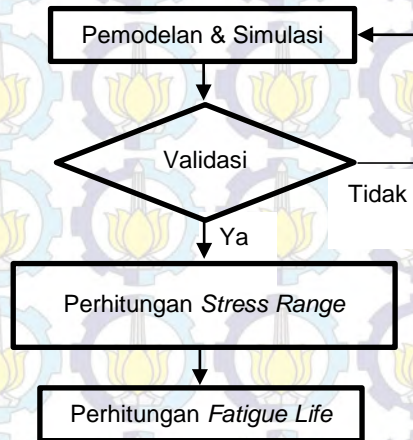


Gambar 3.2 Flow chart pengerjaan skripsi tahap pertama

Langkah pertama dalam pengerjaan skripsi ini adalah melakukan studi literatur dari buku dan berbagai jurnal untuk mengetahui jenis-jenis *Suppression device*. Didapat dua jenis *suppression device* yaitu *Helical strike* dan *Fairing* untuk dibandingkan dalam meredam dampak VIV. Kemudian dicari ukuran/dimensi dari kedua jenis *suppression device* (2.4). Data *free span* sepanjang jalur dari Maleo field ke EJGP dilakukan *screening* berupa *static screening* ($L/D < 30$) (2.2) dan *dynamic screening* (allowable length due to cross flow dan inLine) sesuai dengan kriteria yang ada di DNV RP F-105. Hasil dari *screening free span* adalah kritikal *free span*

yang nantinya akan dijadikan objek simulasi dalam membandingkan *suppression device*.

3.3. Tahap Kedua Pengerjaan Skripsi



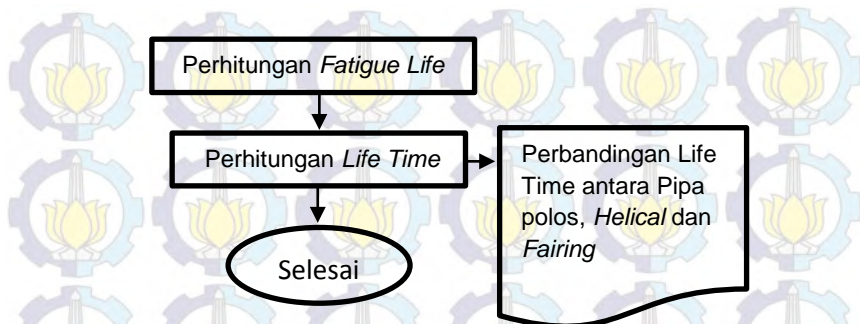
Gambar 3.3 Flow chart pengerjaan skripsi tahap kedua

Langkah kedua yaitu perhitungan *fatigue life* (2.6). Beberapa data seperti tekanan dan kecepatan didaerah yang terjadi VIV didapat dari proses simulasi *Finite Elemen Methode* (FEM) menggunakan software Ansys Fluent.

Selanjutnya yaitu mencari nilai *Stress range* pada kritikal *free span* yang didapat dari pembacaan kurva SN. Dari berbagai macam Kurva SN dipakai kurva SN yang mempunyai karakteristik seperti yang dimiliki oleh pipa dari Maleo field ke EJGP.

Setelah mendapatkan nilai *stress range* maka akan didapat nilai D_{fat} (persamaan 2.6). Nilai D_{fat} ini akan dipakai untuk menghitung nilai sisa waktu operasi (persamaan 2.8) pada tahap ketiga.

3.4. Tahap Ketiga Pengerjaan Skripsi



Gambar 3.4 Flow chart pengerjaan skripsi tahap ketiga

Langkah terakhir yaitu melakukan perhitungan *life time* (persamaan 2.8). Dari hasil perhitungan *life time* ketiga pipa, selanjutnya akan dibandingkan manakah yang mempunyai *life time* paling lama. Dari hasil perbandingan akan didapat jenis *suppression device* yang paling baik dalam mengurangi dampak dari VIV.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Pipeline

Untuk studi kasus yang digunakan dalam skripsi ini yaitu menggunakan pipeline milik Santos dari Maleo field ke jalur EJGP milik Pertamina dengan spesifikasi dan data sebagai berikut :

Tabel 4.1 Pipeline Material Properties Data

Sumber: Dokumen under water inspection service project Maleo Field tahun 2013

Parameters	Units	Description
Outside Diameter	mm	355.6 (14 inch)
Line Pipe Wall Thickness	mm	14.3
Material	-	API 5L Grade X65 PSL 2 CS
SMYS ¹⁾	MPa	448
SMTS ¹⁾	MPa	531
Young Modulus	MPa	2.07×10^5
Poison Ratio	-	0.3
Steel Density	kg/m ³	7850
Content density (max. at 1500psig and 75 MMscfd)	kg/m ³	85 ³⁾
Coefficient of Thermal Expansion	/ °C	1.17×10^{-5}
Pipeline Service	-	Gas

Tabel 4.2 Pipeline Corrosion Coating Design Data

Item	Unit	Description
Material	-	Asphalt Enamel
Corrosion Coating Thickness	mm	4.5
Corrosion Coating Density	kg/m ³	1300
Corrosion Coating Cutback	mm	150

Tabel 4.3 Pipeline Concrete Coating Design Data

Data	Unit	Description
Concrete Coating Thickness	mm	30
Concrete Coating Density	kg/m ³	2800
Corrosion Coating Cutback	mm	225

Tabel 4.4 Seawater Properties

Parameter	Unit	Value
Seawater Density	kg/m ³	1025
Seawater Temperature	Max.	°C 31
	Min.	°C 21

Tabel 4.5 Pipeline Wave and Current Data

Parameter	Unit	Return Period (Year)		
		1	20	100
Max. Individual Wave				
Height, H_{\max}	m	5.83	8.55	9.34
Period, T_{\max}	sec	11.71	14.25	14.90
Significant Wave				
Height, H_s	m	3.24	4.75	5.19
Period, T_s	sec.	9.01	10.96	11.46
Current Speed				
at 90% Water depth	m/s	0.52	0.55	0.62
at 100% Water depth	m/s	0.49	0.49	0.49

Data-data diatas digunakan untuk melakukan perhitungan dan analisa dalam membandingkan *life time suppression device* sesuai dengan kriteria yang ada di DNV RP F105 Free Spanning Pipelines. Dimulai dari *screening free span level 1* (lampiran I) dan level 2 (lampiran II), perhitungan *stress range*, dan perhitungan *life time*.

4.2. Diameter Luar Total Pipa

Diameter luar total pipa merupakan diameter keseluruhan pipa termasuk coating dan concrete yang melindungi pipa. Untuk menentukan besarnya diameter luar total pipa, dapat menggunakan persamaan :

$$D_{tot} = OD_{pipe} + 2x t_{coating} + 2x t_{concrete} \quad (\text{pers. 4.1})$$

Dimana :

D_{tot} = diameter luar total pipa

OD_{pipe} = diameter luar pipa

$t_{coating}$ = ketebalan coating

$t_{concrete}$ = ketebalan concrete

Dari persamaan 4.1 didapatkan besarnya diameter luar total pipa :

$$\begin{aligned} D_{tot} &= 355.6 \text{ mm} + (2 \times 4,5 \text{ mm}) + (2 \times 30 \text{ mm}) \\ &= 424,6 \text{ mm} \\ &= \mathbf{0,425 \text{ m}} \end{aligned}$$

Ketebalan *coating* dan ketebalan *concrete* pada seluruh jalur dari Maleo field ke EJGP adalah sama sehingga untuk semua perhitungan semua segmen menggunakan nilai yang sama.

4.3. Screening Free Span Level 1 (Geometry $L/D < 30$)

Dari data free span sepanjang jalur dari Maleo Field ke EJGP dilakukan *screening* untuk menentukan free span yang melebihi kriteria sesuai DNV RP F-105 Free Spanning Pipelines yaitu $L/D < 30$ (2.2). Free span yang tidak lolos kriteria $L/D < 30$ akan dilakukan screening level 2 Dynamic Screening (Allowable free span due to Cross Flow dan InLine). Setelah dilakukan screening level 1 didapat **100 free span** yang tidak lolos. *Screening free span* berdasar $L/D < 30$ bisa dilihat pada lampiran 1.

4.4. Free Span Level 2 (Dynamic Screening)

Setelah melakukan static screening berupa $L/D < 30$ maka langkah selanjutnya yaitu melakukan dynamic screening berupa panjang maksimum yang diperbolehkan pada kondisi Cross Flow dan kondisi InLine. Sebelum melakukan screening level 2 ada beberapa nilai yang harus dicari terlebih dahulu yaitu, Massa pipa tercelup (M_d), Added mass (M_a), Massa effective (M_e), Frekuensi vortex shedding (F_s),

Frekuensi natural (F_n), Stability parameter (K_s), dan Reduced velocity (V_r).

4.4.1. Massa pipa tercelup (M_d)

Untuk menentukan nilai dari massa pipa tercelup dapat dicari menggunakan persamaan berikut :

$$M_d = \frac{\pi}{4} D_{tot}^2 62.4 \text{ lb/ft}^3 \quad (\text{persamaan 4.2})$$

Sehingga untuk segmen pada kilometer 0,000 sampai dengan 0,026 besar nilai M_d adalah sebagai berikut :

$$M_d = 3,14/4 \times 0,425 \text{ m}^2 \times (62,4/0,062428) \text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{M_d = 141 \text{ kg/m}}$$

4.4.2. Added mass (M_a)

Merupakan massa yang ditambahkan karena adanya fluida yang bergerak melewati pipa sehingga terjadi penambahan massa pipa. Untuk mendapatkan nilai added mass dapat digunakan persamaan berikut :

$$M_a = \rho_{sea \text{ water}} \frac{\pi}{4} D_{tot}^2 \quad (\text{persamaan 4.3})$$

Sehingga untuk segmen pada kilometer 0,000 sampai dengan 0,026 besar nilai M_a adalah sebagai berikut :

$$M_a = 1025 \text{ kg/m}^3 \times 3,14/4 \times (0,425)^2 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{M_a = 145 \text{ kg/m}}$$

4.4.3. Massa effective (M_e)

Massa effective adalah penjumlahan antara massa pipa tercelup dengan added mass. Sehingga dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$M_e = M_d + M_a \quad (\text{persamaan 4.4})$$

Sehinga untuk segmen pada kilometer 0,000 sampai dengan 0,026 besar nilai M_e adalah sebagai berikut:

$$M_e = 141 \text{ kg/m} + 145 \text{ kg/m}$$

$$\mathbf{M_e = 287 \text{ kg/m}}$$

4.4.4. Frekuensi natural (F_n)

Untuk mendapatkan nilai natural frekuensi digunakan persamaan 2.1. Sehingga untuk segmen pada kilometer 0,000 sampai dengan 0,026 besar nilai f_n adalah sebagai berikut :

$$f_n = \frac{c_a}{2\pi} \sqrt{\frac{E I}{M_e L \text{span}^4}}$$

Dimana :

C_a = koefisien kondisi free span

E = Modulus young (Pa)

I = Moment inertia (m^4)

M_e = Massa Efective (kg/m)

L = Panjang Free Span (m)

Sehingga :

$$f_n = \frac{9,87}{2 \times 3,14} \sqrt{\frac{2,07 \cdot 10^{11} \times 0,001}{287 \times 26^4}}$$

$$f_n = 2,007 \text{ Hz}$$

Karena nilai f_n merupakan fungsi dari panjang *free span* (L) maka untuk nilai f_n dari masing-masing segmen yang lain dapat di lihat pada **lampiran 2**.

4.4.5. Stability parameter (Ks)

Untuk mendapatkan nilai K_s dapat dicari menggunakan persamaan 2.4. Untuk segmen pada kilometer 0,000 sampai dengan 0,026 besar nilai K_s adalah sebagai berikut :

$$K_s = \frac{4 M_e \zeta_s}{\rho D^2}$$

Dimana :

M_e = Massa efektif (kg/m)

\square = Massa jenis air laut (kg/m³)

D = Diameter luar pipa

ζ = Damping ratio

Sehingga :

$$K_s = \frac{4 \times 287 \times 0,03}{1025 \times 0,425^2}$$

$$K_s = \frac{34,44}{185,14}$$

$$K_s = 0,3$$

Karena diameter pada semua jalur adalah sama maka untuk semua free span nilai K_s adalah sama.

4.4.6.Reduced velocity (V_R)

Untuk mendapatkan nilai V_R menggunakan persamaan 2.6. Sehingga untuk segmen pada kilometer 0,000 sampai dengan 0,026 besar nilai V_R adalah sebagai berikut :

$$V_R = \frac{U_c}{fn \times D_{tot}}$$

Dimana :

U_c = Kecepatan arus (m/s)

Fn = Natural Frekuensi (Hz)

D_{tot} = Diameter luar (m)

Sehingga :

$$V_R = \frac{0,52}{2,007 \times 0,425}$$

$$V_R = 0,57 \text{ m/s}$$

Untuk segmen pada kilometer yang lain nilai V_R dapat dilihat pada **lampiran 2**.

4.4.7.Allowable Length in Cross Flow Condition

Untuk analisa dinamis pada free span akan ditinjau berdasarkan dua macam kondisi yaitu pada kondisi cross flow dan kondisi InLine. Untuk analisa panjang maksimum pada kondisi cross flow menggunakan persamaan :

$$L_C = \sqrt{\frac{C_a V_R D_{tot}}{2 \pi U_c}} \sqrt{El/m_e} \quad (\text{persamaan 4.5})$$

Dimana :

L_C	= panjang maksimum free span
C_a	= konstanta free span
V_R	= reduced velocity
D_{tot}	= diameter total pipa
U_C	= current velocity
E	= modulus young
I	= momen inersia
M_e	= massa efektif

Sehinga untuk segmen pada kilometer 0,000 sampai dengan 0,026 panjang maksimum yang diijinkan pada kondisi Cross Flow adalah sebagai berikut :

$$L_C = \sqrt{\frac{9,87 \times 0,11 \times 0,425}{2 \times 3,14 \times 0,52}} \sqrt{\frac{2,07 \cdot 10^{11} \times 0,001}{287}}$$

$$L_C = 40,004 \text{ m}$$

Untuk segmen pada kilometer yang lain panjang maksimum yang diijinkan pada kondisi Cross Flow dapat dilihat pada **lampiran 2**.

4.4.8. Allowable Length in InLine Condition

Untuk panjang maksimum pada kondisi In line menggunakan persamaan berikut :

$$L_c = \sqrt{\frac{C_a}{f_n \times 2\mu}} \sqrt{El/m_e} \quad \text{persamaan 4.6}$$

Dimana :

L_c = panjang maksimum free span

C_a = konstanta free span

f_n = natural frekuensi

E = modulus young

I = momen inersia

M_e = massa efektif

Sehinga untuk segmen pada kilometer 0,000 sampai dengan 0,026 panjang maksimum yang diijinkan pada kondisi *In Line* adalah sebagai berikut :

$$L_c = \sqrt{\frac{9,87}{2,007 \times 2 \times 3,14}} \sqrt{\frac{2,07 \cdot 10^{11} \times 0,001}{287}}$$

$$L_c = 22,99 \text{ m}$$

Untuk segmen pada kilometer yang lain panjang maksimum yang diijinkan pada kondisi *In Line* dapat dilihat pada **lampiran 2**.

4.5. Hasil Screening Free Span

Setelah melakukan screening maka didapat free span mana saja yang melebihi batas yang diijinkan pada kondisi statis dan kondisi dinamis (*screening level 1* dan *screening level 2*). Hal tersebut menunjukan free span memiliki tingkat kelelahan yang kritis. *Free span* yang termasuk kategori kritis. Untuk free span mana saja yang termasuk kategori kritis dapat dilihat pada **lampiran 2**.

4.6. Pemodelan dan Simulasi Free Span

Setelah melakukan screening level 1 dan level 2 selanjutnya yaitu melakukan pemodelan dan simulasi. Untuk pemodelan dan simulasi tidak dilakukan pada semua free span melainkan pada free span dengan kriteria sebagai berikut :

- Free span tidak lolos *screening* level 1 ($L/D < 30$)
- Tidak lolos screening level 2 (panjang maksimum pada kondisi *In-line* dan kondisi *cross flow*)
- Mempunyai panjang free span terpanjang.

Dari kriteria diatas dipilih free span pada Kilometer Post (KP) 3.118 sampai dengan 3.147 dengan kedalaman **60 meter** dan panjang free span **29 m. (Lampiran 2)**

Free span yang sudah dipilih akan disimulasi sebanyak tiga kali yaitu pertama free span dengan kondisi tanpa suppression device, kedua free span dengan penambahan *helical strike*, ketiga free span dengan penambahan *fairing*.

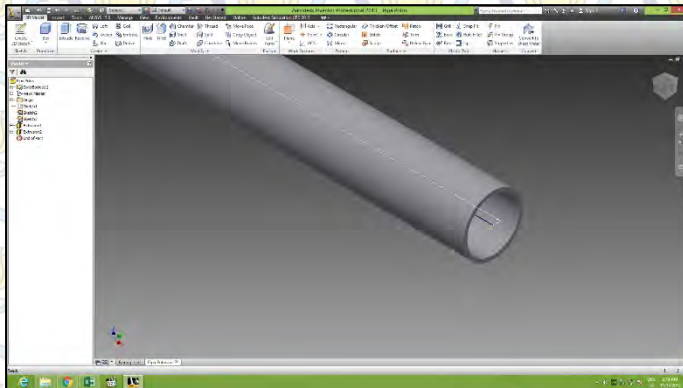
Dalam melakukan simulasi digunakan toolbox Ansys Fluent untuk mendapatkan data kecepatan pada daerah *vortex*. Secara garis besar ada 3 tahap (**Lihat 2.5**) yaitu :

- Geometri yaitu melakukan pemodelan dari objek yang akan disimulasi. Dalam software ansys 14 pemodelan bisa dilakukan di software cad lain (Adobe Inventor) untuk mempermudah pemodelan pada objek yang rumit dengan catatan extensi file hasil pemodelan kompatibel dengan Ansys. Hasil dari software cad kemudian dibuka pada Ansys untuk selanjutnya dilakukan proses Meshing.
- Mesh (meshing) adalah suatu proses penyatuan setiap segmen-segmen gambar sehingga seluruh bagian gambar dapat dilakukan simulasi CFD. Hal ini dikarenakan ketika simulasi CFD sedang berlangsung, software melakukan perhitungan di setiap elemen-elemen. Oleh karena itulah

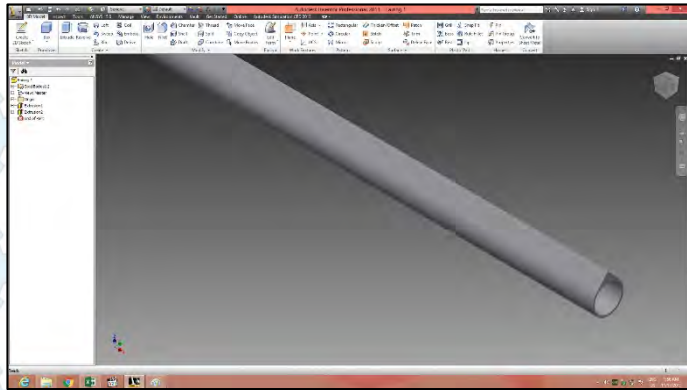
proses meshing dilakukan terlebih dahulu sebelum simulasi CFD dijalankan.

- c. Setup merupakan proses inputan material, fluida, boundary condition dan setting perhitungan. Pada akhir proses ini akan ditampilkan hasil simulasi berupa grafik atau kontur pada daerah simulasi.

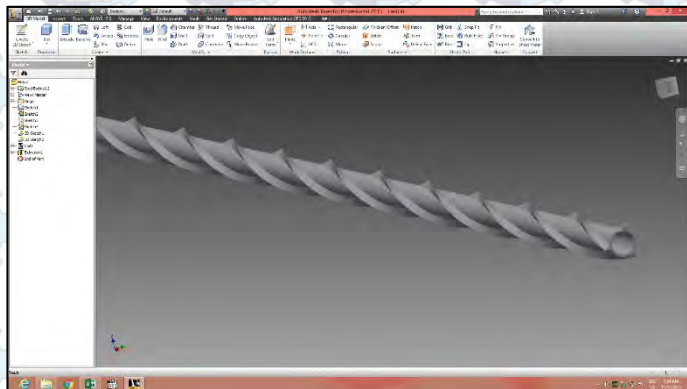
Langkah pertama dalam simulasi adalah melakukan pemodelan pipa, dari pipa polos (Gambar 4.1), pipa dengan helical strike (Gambar 4.2) dan pipa dengan fairing (Gambar 4.3) Untuk mempermudah pembuatan model, pemodelan dilakukan menggunakan bantuan software Adobe Inventor.



Gambar 4.1 Pemodelan pipa polos



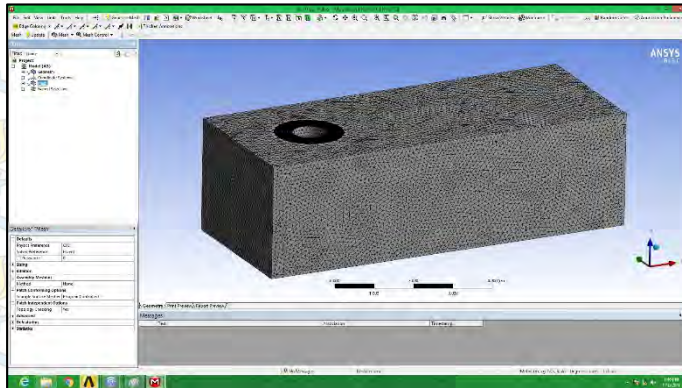
Gambar 4.2 Pemodelan pipa dengan faring



Gambar 4.3 Pemodelan pipa dengan Helical

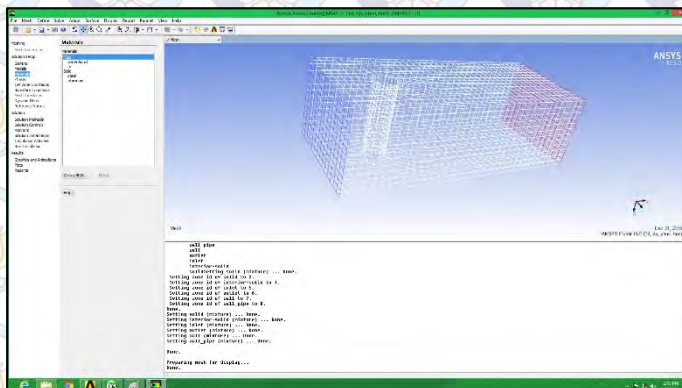
Pada proses Geometri juga dilakukan pembuatan daerah atau area simulasi. Area ini merupakan simulasi dari fluida yang nantinya akan mengenai pipa. Pada proses ini akan ditentukan bagian inlet atau outlet fluida

Langkah kedua yaitu melakukan proses Meshing, dimana pada model dan area yang sudah dibuat akan disetting mesh. (Gambar 4.4). Untuk detail proses meshing bisa dilihat pada lampiran 3.

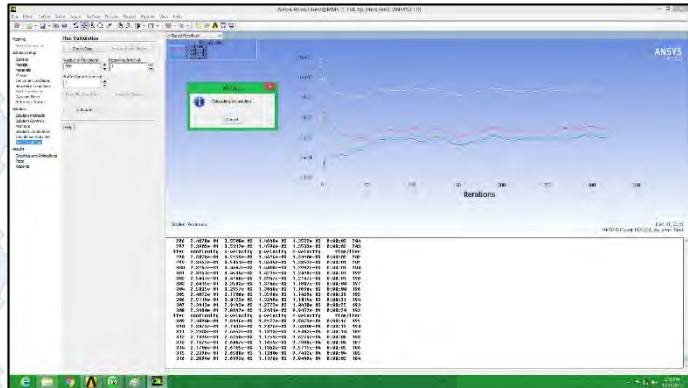


Gambar 4.4 Proses meshing pipa polos

Langkah ketiga yaitu melakukan setup model dan area yang sudah di buat. Setup yang dimaksud adalah menentukan *boundary condition* dari simulasi, mulai material dan fluida yang digunakan. (Gambar 4.5) menunjukkan input material dan fluida pada Ansys Fluent yang disesuaikan dengan kondisi riilnya. Pada tahap ini juga dilakukan running perhitungan (Gambar 4.6) setelah semua *boundary condition* ditentukan.

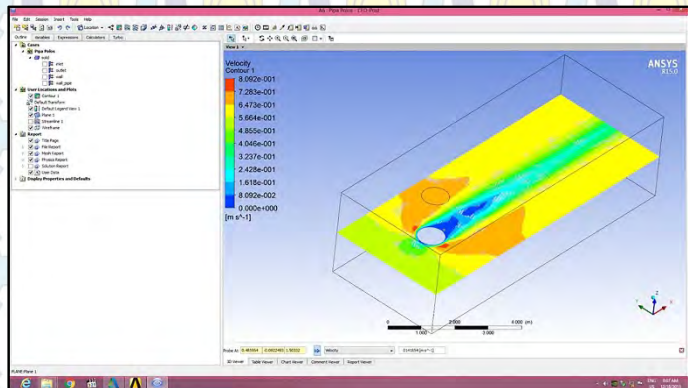


Gambar 4.5 Input material



Gambar 4.6 Running perhitungan

Setelah running perhitungan selesai dilakukan pengaturan tampilan dari hasil running (*Contour*). Dari proses ini bisa diketahui berapa kecepatan didaerah *vortex*. Hasil simulasi pipa polos (Gambar 4.8) didapat hasil $V_R = 0,67 \text{ m/s}$. Untuk ditail dan hasil tampilan dari simulasi pipa *fairing* dan pipa *helical* bisa dilihat pada **lampiran 3**.



Gambar 4.7 Hasil simulasi pipa polos

4.7. Validasi Hasil Simulasi

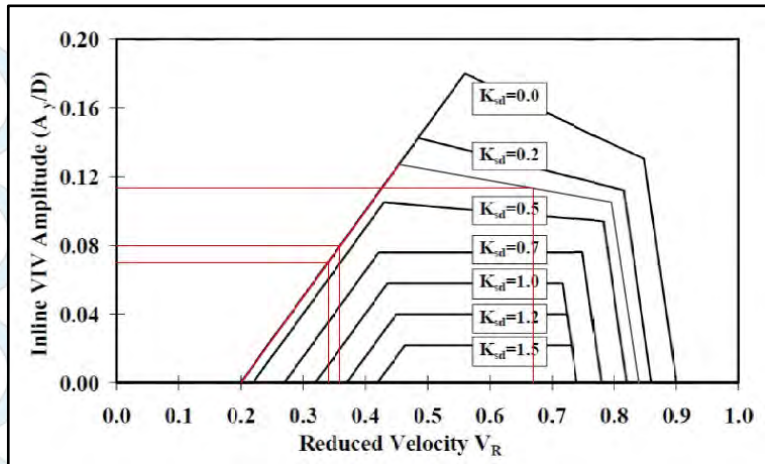
Data yang didapat dari hasil simulasi yaitu kecepatan di daerah vortex perlu dilakukan validasi apakah simulasi yang dilakukan cukup akurat. Cara untuk memvalidasi yaitu dengan membandingkan hasil simulasi dengan hasil perhitungan secara matematis. Dalam hal ini yang dijadikan acuan dalam memvalidasi hasil simulasi yaitu nilai kecepatan di daerah vortex atau disebut Reduction velocity (V_R) pada pipa polos, karena (persamaan 2.6) $V_R = V / F_n \times D$ hanya berlaku pada kondisi pipa polos. Hasil dari perhitungan didapat nilai V_R pada free span KP 3.118 sampai dengan 3.147 adalah **0,72 m/s** sedangkan nilai V_R dari hasil simulasi adalah **0,67 m/s**. Selisih atau eror dari kedua nilai yang tidak terlalu besar menunjukkan simulasi yang dilakukan cukup akurat. Dengan hasil tersebut maka akan dilakukan simulasi pada pipa dengan *helical* dan *fairing* dengan *setting* dan *boundary condition* yang sama seperti yang dilakukan pada pipa polos. Untuk detail proses modelling bisa dilihat di **Lampiran 3**. Untuk hasil dari ketiga simulasi adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil Simulasi Ansys

	Pipa Polos	Fairing	Helical
V_R (m/s)	0,67	0,36	0,34

4.8. Respon Model

Dari masing-masing nilai V_R yang didapat kemudian akan diplotkan ke grafik respon model untuk mendapat nilai (A_Y/D). (A_Y/D) adalah nilai yang menunjukkan maksimum respon amplitudo sebagai fungsi V_R dan K_s . Dengan memotongkan nilai V_R ke garis K_s kemudian ditarik garis ke kiri maka akan didapat nilai (A_Y/D). Nilai (A_Y/D) akan digunakan untuk mencari nilai Stress range (4.9). Berikut adalah hasil dari pembacaan grafik (A_Y/D).



Gambar 4.8 Gambar hasil pembacaan grafik (A_Y/D)

Tabel 4.7 Hasil Pembacaan Respon Model

	Pipa Polos	Fairing	Helical
A_Y/D	0,11	0,08	0,07

4.9. Perhitungan *Stress Range*

Stress range yang dimaksud adalah stress yang diakibatkan oleh getaran atau bisa disebut *Vibration Stress Range*. Nilai stress range ini nantinya akan diplotkan ke kurva SN untuk mendapatkan nilai N (*Number of cycle to failure*) / jumlah siklus yang menjadikan pipa gagal pada nilai stress range tertentu. Untuk mendapatkan nilai *stress range* digunakan persamaan sebagai berikut :

$$S_{IL} = 2 \times A_{IL} (A_Y/D) \times \gamma_s \quad (\text{persamaan 4.7})$$

Dimana :

$$A_{IL} = \text{amplitude stress} \\ = C_4 \times (1+CSF) \times (D \times (D_s-t) \times E)/L^2$$

C4	= 4,93 (DNV RPF 105 tabel 6-1)
CSF	= 1 (concrete stiffnes factor, DNV RP C203, 3.3.8)
D	= Diameter luar
Ds	= Diameter pipa tanpa coating
t	= Ketebalan pipa
E	= Modulus young
L	= Panjang free span
A_Y/D	= Respon amplitude
γ_s	= Safety factor

Sehingga :

$$A_{IL} = 4,93 \times (1+1) \times (0,425 \times (0,356 - 0,143) \times 2,07 \cdot 10^5 / 29^2) = 352,44 \text{ Mpa}$$

Sehingga untuk pipa polos :

$$S_{IL} = 2 \times 352,44 \text{ MPa} \times 0,11 \times 1,3 = \mathbf{100,798 \text{ MPa}}$$

Untuk nilai S_{IL} yang lain bisa dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Stress Range

$S_{IL} = 2 \times A_{IL} (A_Y/D) \times \gamma_s$		
	A_Y/D	$S_{IL} \text{ (MPa)}$
Pipa Polos	0,11	100,798
Fairing	0,08	73,308
Helical	0,07	64,144

Masing-masing nilai stress range akan diplotkan pada kurva SN untuk mendapatkan nilai N **(4.10)**.

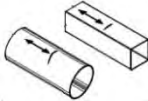

4.10. Pembacaan SN Curve

Kurva SN (Gambar 4.10) adalah kurva yang menunjukkan seberapa besar nilai Stress yang dapat diterima secara

berulang-ulang oleh suatu material. Kurva SN dibuat dengan melakukan percobaan pembebanan pada masing-masing jenis material secara berulang-ulang sehingga didapat rentang nilai yang dapat diterima oleh suatu material. Kurva SN digunakan untuk pendekatan dalam perhitungan fatigue (fenomena kegagalan logam dan struktur akibat adanya pembebanan cyclic) suatu material.

Untuk pemilihan kurva SN disesuaikan dengan material yang digunakan, pada jalur Maleo Field digunakan kurva B2 karena paling mendekati sesuai dengan karakter yang ada pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Karakteristik material kurva SN
(Sumber: DNV RP C203, 2011)

Detail category	Constructional details	Description	Requirement
B1	1. 	1. Non-welded sections	1. — Sharp edges and surface flaws to be improved by grinding
B2	2. 	2. Automatic longitudinal seam welds (for all other cases, see Table A-3)	2. — No stop/start positions, and free from defects outside the tolerances of OS-C401 Fabrication and Testing of Offshore Structures.

Dari tabel 4.9 didapat kategori kurva SN yang paling mendekati dengan pipa pada jalur Maleo Field yaitu kategori B2. Untuk selanjutnya kurva SN untuk pipa dengan cathodic protection bisa dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.10 Kurva SN dengan cathodic protection
(Sumber: DNV RP C203, 2011)

S-N curve	$N \leq 10^6$ cycles		$N > 10^6$ cycles	Fatigue limit at 10^7 cycles ^{*)}	Thickness exponent k	Stress concentration in the S-N detail as derived by the hot spot method
	m_1	$\log \bar{a}_1$	$\log \bar{a}_2$ $m_2 = 5.0$			
B1	4.0	14.917	17.146	106.97	0	
B2	4.0	14.685	16.856	93.59	0	
C	3.0	12.192	16.320	73.10	0.15	
C1	3.0	12.049	16.081	65.50	0.15	
C2	3.0	11.901	15.835	58.48	0.15	
D	3.0	11.764	15.606	52.63	0.20	1.00
E	3.0	11.610	15.350	46.78	0.20	1.13
F	3.0	11.455	15.091	41.52	0.25	1.27
F1	3.0	11.299	14.832	36.84	0.25	1.43
F3	3.0	11.146	14.576	32.75	0.25	1.61
G	3.0	10.998	14.330	29.24	0.25	1.80
W1	3.0	10.861	14.101	26.32	0.25	2.00
W2	3.0	10.707	13.845	23.39	0.25	2.25
W3	3.0	10.570	13.617	21.05	0.25	2.50
T	3.0	11.764	15.606	52.63	0.25 for SCF ≤ 10.0 0.30 for SCF > 10.0	1.00

^{*)} see also 2.11

Dari tabel 4.10 didapat nilai $m = 5$ dan $\log a = 16,856$. Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai n_i . Nilai n_i dapat dicari menggunakan persamaan berikut :

$$n_i = a/S^m \quad (\text{DNV RPF 105 2.4.3})$$

sehingga untuk n_i pipa polos nilai n_i adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} n_i &= 10^{16,856} / 100,798^5 \\ &= 6.898.330 \end{aligned}$$

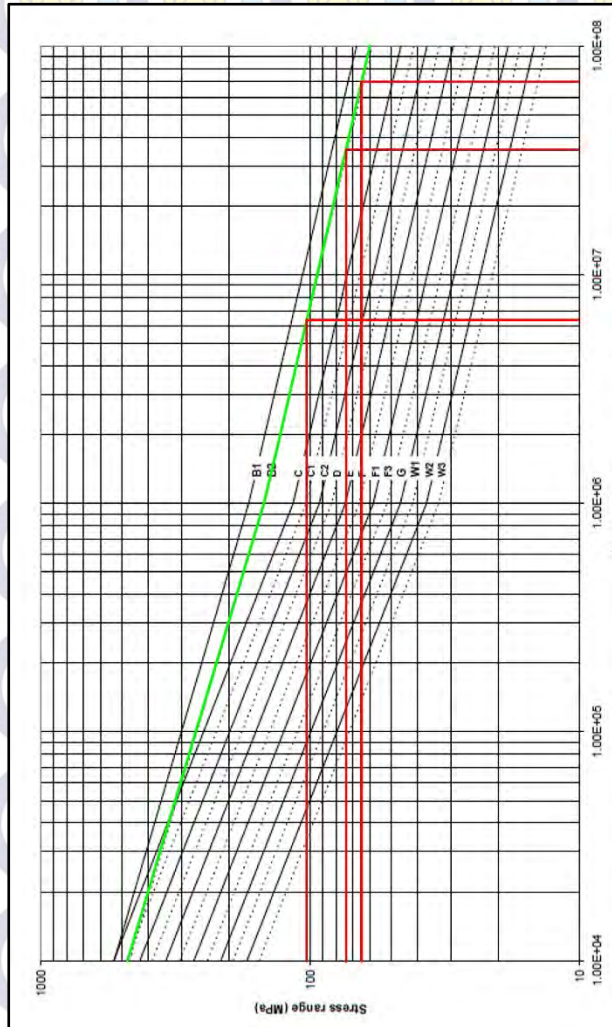
Untuk nilai n_i pipa fairing dan helical adalah sebagai berikut :

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan n_i

$n_i = a/S^m$	S_{IL}	n_i
Pipa Polos	100,798	6.898.330
Fairing	73,308	33.904.509
Helical	64,144	66.102.395

Untuk nilai N didapat dari pembacaan kurva SN yang merupakan fungsi dari Stress range. Nilai stress range yang sudah didapat ditarik garis horizontal ke kanan sampai

berpotongan dengan garis kurva B2, dari perpotongan tersebut ditarik garis vertikal ke bawah untuk mendapat nilai N. Seperti pada (Gambar 4.10)



Gambar 4.9 Hasil pembacaan kurva SN

Berikut hasil pembacaan kurva SN :

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan N

	S_{IL}	N
Pipa Polos	100,798	6.100.000
Fairing	73,308	36.000.000
Helical	64,144	70.000.000

Nilai n_i dan N akan digunakan untuk menghitung nilai Dfat (Damage Accumulation) pada tahap berikutnya.

4.11. Perhitungan *Life Time*

Pipa yang mendapatkan beban terus menerus dalam jangka waktu tertentu akan mengalami kelelahan atau fatigue. Hal ini dapat diketahui dengan mencari perbandingan antara beban siklik yang diterima selama operasi dengan beban estimasi dari disain karena adanya stress yang terjadi pada pipa. Untuk menyelesaikan hal ini, dapat dilakukan dengan mengacu pada persamaan 2.5.

$$Dfat = \sum n_i / N_i$$

Sehingga untuk pipa polos nilai Dfat adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Dfat &= 6.898.000 / 6.600.000 \\ &= 1.05 \end{aligned}$$

Untuk nilai Dfat pada pipa dengan *Fairing* dan pipa dengan *Helical* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Fatigue Damage

	N_i	n_i	Dfat
Pipa Polos	6.100.000	6.898.000	1,13
Fairing	36.000.000	33.904.509	0,942
Helical	70.000.000	66.102.395	0,944

Nilai D_{fat} akan digunakan untuk menghitung life time pada masing –masing pipa pada langkah selanjutnya.

4.12. Membandingkan *Life Time*

Langkah terakhir dalam perhitungan adalah menghitung nilai life time pada masing-masing pipa. Karena nantinya akan dibandingkan nilai Life time pada pipa polos, pipa dengan fairing dan pipa dengan helical sesuai dengan tujuan skripsi ini. Untuk dapat menghitung life time digunakan persamaan berikut :

$$T_{Life} = T_{exp} / D_{fat} \times \eta$$

Dimana :

T_{exp} = adalah estimasi waktu life time pada saat disain
= untuk kasus kali ini diasumsikan 50 tahun.

D_{fat} = Damage accumulation

η = *safety factor for fatigue* (normal = 1)

Sehingga nilai Life time untuk pipa polos adalah sebagai :

$$\begin{aligned} T_{life} &= 50 \text{ tahun} / 1,131 \times 1 \\ &= 44,21 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Untuk hasil life time pada pipa dengan *Fairing* dan pipa dengan *Helical* dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan *Life Time*

	D_{fat}	Life Time (tahun)
Pipa Polos	1,13	44,21
Fairing	0,942	53,09
Helical	0,944	52,95

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

1.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa yang sudah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya :

1. Setelah dilakukan dua kali screening free span yaitu screening geometri $L/D < 30$ dan screening panjang free span maksimal pada kondisi *inline* dan *cross flow*, dipilih free span pada KP 3.118 sampai dengan 3.147 dengan panjang free span 29 m pada kedalaman 60 m. Free span tersebut dipilih karena tidak lolos screening baik screening geometri $L/D < 30$ maupun screening panjang maksimal free span pada kondisi *inline* maupun *cross flow* dan memiliki panjang free span terpanjang, nantinya free span tersebut akan dilakukan simulasi yaitu dengan pemasangan *Fairing* dan *Helical strike* untuk dibandingkan nilai *life time* nya.
2. Setelah melakukan simulasi didapatkan nilai V_R (kecepatan didaerah *vortex*) pada pipa polos sebesar **0,72 m/s**, pipa dengan *Fairing* **0,36 m/s** dan pipa dengan *Helical strike* **0,34 m/s**.
3. Dari perhitungan *Vibration Stress range* (S) yang merupakan fungsi dari V_R diketahui semakin besar nilai V_R maka semakin besar nilai vibration stress range, yaitu untuk **pipa polos** sebesar **100,798 Mpa**, pipa dengan *Fairing* **73,308 Mpa** dan pipa dengan *Helical strike* **64,144 MPa**. Dengan semakin besar nya nilai *stress range* yang diterima pipa maka nilai N (jumlah siklus untuk menjadi gagal) semakin kecil yang berarti pipa juga mempunyai siklus stress ni yang kecil.
4. Dengan membandingkan nilai N_i dan n_i maka didapat diketahui nilai *fatigue damage* (Dfat). Sehingga dengan mengasumsikan bahwa pipa didisain untuk beroperasi selama 50 tahun, pada kondisi free span kritis yang terkena VIV (*Vortex Induced Vibration*) mempunyai nilai *life time* pada

pipa polos 44,21 tahun, pada pipa dengan *Fairing* **53,09 tahun** dan pada pipa dengan *Helical strike* **52,95 tahun**.

5. Dengan penambahan suppression device bisa menambah sisa waktu operasi pada free span yang terkena dampak VIV, pada free span KP 3.118 sampai dengan 3.147 didapat penambahan sisa waktu operasi menggunakan suppression device jenis *fairing* sebesar **8,88 tahun** sedangkan pada jenis *Helical strike* sebesar **8,74 tahun**.

1.2. Saran

Ada beberapa saran yang dapat diambil dari analisa yang telah dilakukan :

1. Perlu dilakukan studi eksperimen terhadap *suppression device* jenis *Fairing* dan *Helical* dalam mengurangi dampak dari Vortex Induced Vibration (VIV) untuk mendapat hasil yang lebih akurat.
2. Perlu dilakukan analisa lebih lanjut pada *free span* dengan kondisi yang lebih ekstrim untuk mengetahui pengaruh lingkungan terhadap kemampuan *suppression device* dalam meredam VIV.
3. Untuk melakukan analisa *free span* selanjutnya dengan memperhatikan laju korosi yang terjadi pada *free span* karena hal tersebut akan mempengaruhi tingkat kegagalan pada pipa.
4. Perlu dilakukan analisa dengan model dan simulasi menggunakan skala dan kondisi sesuai dengan aslinya untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkazraji, Duraid. 2008. *A Quick Guide Pipeline Engineering*. Woodhead Publishing Limited. England.
- Bai, Yong. 2001. *Pipelines and Risers*. Elsevier. USA.
- Dalton, Charles. 2013. *Fundamentals of Vortex Induced Vibration*. University of Houston, England.
- DNV Rp C203. (2011). *Fitigue Design of Offshore Steel Structure*.
- DNV RP F105. (2006). *Free Spanning Pipelines*.
- Don W. Allen, SGS. 2008. *Fairing versus Helical Strakes for Suppression of Vortex-Induced Vibration: Installation, Maintanance and Economic Considerations*. Offshore Technology Conference. Houston Texas USA.
- Don W. Allen. 2008. *Fairing versus Helical Strakes for Suppression of Vortex-Induced Vibration: Technical Comparisons*. Offshore Technology Conference. Houston Texas USA.
- Guo, Boyun. 2005. *Offshore Pipeline*. Elsevier Inc. USA.
- Janardhanan, Aswin. 2014. *Reducing Vortex Induced Vibration of Drilling Risers with Marine Fairing*. University of New Orleans. United States.
- Koushan, Kamran. 2009. *Vortex Induced Vibration of Free Span Pipelines*. Norwegian University of Science and Technology. Norwegia.
- P. Albert, Alexander. 2011. *Pipeline to Market*. Houston, Texas, USA.
- Schulz, Karl. 2000. *Three Dimensional Numerical Prediction of The Hydrodynamic Loads and Motions of Offshore Structure*. University of Texas. USA.
- Stephen P. Armstrong. 2004. *VIV Suppression Installation on Existing Horizontal Pipelines Spans*. Offshore Technology Conference. Houston Texas USA.

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
1	18-01-13	07:42	0.000	Flange KP Start (free span)	26	61	Tidak Lolos
	18-01-13	09:06	0.026	end of free span			
2	18-01-13	09:08	0.034	start of free span	15	35	Tidak Lolos
	18-01-13	09:11	0.049	end of free span			
3	18-01-13	11:12	0.056	start of free span	15	35	Tidak Lolos
	18-01-13	11:15	0.071	end of free span			
4	18-01-13	11:24	0.089	start of free span	11	26	Lolos
	18-01-13	11:30	0.100	end of free span			
5	18-01-13	15:15	0.108	start of free span	8	19	Lolos
	18-01-13	15:17	0.116	end of free span and debris rope			
6	18-01-13	15:21	0.123	start of free span	10	24	Lolos
	18-01-13	15:23	0.133	end of free span			
7	18-01-13	15:26	0.152	start of free span	15	35	Tidak Lolos
	18-01-13	15:28	0.167	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
8	18-01-13	15:29	0.172	start of free span	7	16	Lolos
	18-01-13	15:30	0.179	end of free span and anode position			
9	18-01-13	15:32	0.183	start of free span	7	16	Lolos
	18-01-13	15:33	0.190	end of free span			
10	18-01-13	15:36	0.208	start of free span	5	12	Lolos
	18-01-13	15:37	0.213	end of free span			
11	18-01-13	15:38	0.223	start of free span	5	12	Lolos
	18-01-13	15:39	0.228	end of free span			
12	18-01-13	15:40	0.235	start of free span	9	21	Lolos
	17-01-13	09:05	0.244	end of free span			
13	17-01-13	09:04	0.248	start of free span	5	12	Lolos
	17-01-13	09:03	0.253	end of free span			
14	17-01-13	09:02	0.258	start of free span	1	2	Lolos
	17-01-13	09:00	0.259	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
15	17-01-13	08:57	0.272	start of free span	5	12	Lolos
	17-01-13	08:56	0.277	end of free span			
16	17-01-13	08:54	0.282	start of free span	3	7	Lolos
	17-01-13	08:53	0.285	end of free span			
17	17-01-13	08:00	0.517	start of free span	5	12	Lolos
	17-01-13	07:59	0.522	end of free span			
18	17-01-13	07:57	0.523	start of free span	31	73	Tidak Lolos
	17-01-13	07:52	0.554	end of free span			
19	17-01-13	07:48	0.571	start of free span	5	12	Lolos
	17-01-13	07:47	0.576	end of free span			
20	16-01-13	11:36	0.625	start of free span	14	33	Tidak Lolos
	16-01-13	11:39	0.639	end of free span			
21	16-01-13	11:51	0.692	start of free span	8	19	Lolos
	16-01-13	11:54	0.700	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria $L/D < 30$

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria ($L/D < 30$)
22	16-01-13	11:59	0.706	start of free span	23	54	Tidak Lolos
	16-01-13	12:06	0.729	end of free span			
23	16-01-13	12:10	0.743	start of free span	8	19	Lolos
	16-01-13	12:12	0.751	end of free span			
24	16-01-13	12:19	0.795	start of free span	11	26	Lolos
	16-01-13	12:23	0.806	end of free span			
25	16-01-13	12:35	0.904	start of free span	13	31	Tidak Lolos
	16-01-13	12:37	0.917	end of free span			
26	16-01-13	12:41	0.949	start of free span	6	14	Lolos
	16-01-13	12:43	0.955	end of free span			
27	16-01-13	12:46	0.976	start of free span	12	28	Lolos
	16-01-13	12:47	0.988	end of free span			
28	31-12-12	11:54	1.038	start of free span	13	31	Tidak Lolos
	31-12-12	11:56	1.051	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria $L/D < 30$

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria ($L/D < 30$)
29	31-12-12	11:59	1.062	start of free span	23	54	Tidak Lolos
	31-12-12	12:04	1.085	end of free span			
30	31-12-12	12:06	1.094	start of free span	2	5	Lolos
	31-12-12	12:09	1.096	end of free span			
31	31-12-12	14:28	1.187	start of free span	13	31	Tidak Lolos
	31-12-12	14:38	1.200	End of Free span			
32	31-12-12	14:53	1.267	start of free span	5	12	Lolos
	31-12-12	14:56	1.272	end of free span			
33	31-12-12	14:58	1.277	start of free span	15	35	Tidak Lolos
	31-12-12	15:02	1.292	end of free span			
34	01-01-13	09:08	1.346	start of free span	21	49	Tidak Lolos
	01-01-13	09:10	1.367	end of free span			
35	01-01-13	09:14	1.389	start of free span	15	35	Tidak Lolos
	01-01-13	09:19	1.404	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
36	01-01-13	09:29	1.443	start of free span	21	49	Tidak Lolos
	01-01-13	09:33	1.464	end of free span			
37	01-01-13	09:46	1.544	start of free span	21	49	Tidak Lolos
	01-01-13	09:49	1.565	end of free span			
38	01-01-13	09:52	1.587	start of free span	13	31	Tidak Lolos
	01-01-13	09:55	1.600	End of Free span			
39	01-01-13	10:02	1.633	start of free span	12	28	Lolos
	01-01-13	10:04	1.645	end of free span			
40	01-01-13	10:09	1.675	start of free span	25	59	Tidak Lolos
	01-01-13	10:12	1.700	End of Free span			
41	01-01-13	10:15	1.710	start of free span	5	12	Lolos
	01-01-13	10:16	1.715	end of free span			
42	01-01-13	10:19	1.735	start of free span	5	12	Lolos
	01-01-13	10:20	1.740	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
43	01-01-13	10:25	1.783	start of free span	12	28	Lolos
	01-01-13	10:28	1.795	end of free span			
44	01-01-13	10:31	1.803	start of free span	2	5	Lolos
	01-01-13	10:32	1.805	end of free span			
45	01-01-13	10:34	1.808	start of free span	36	85	Tidak Lolos
	01-01-13	10:42	1.844	end of free span			
46	01-01-13	10:43	1.849	start of free span	4	9	Lolos
	01-01-13	10:44	1.853	end of free span			
47	01-01-13	10:45	1.856	start of free span	8	19	Lolos
	01-01-13	10:47	1.864	end of free span			
48	01-01-13	10:48	1.869	start of free span	10	24	Lolos
	01-01-13	10:49	1.879	end of free span			
49	01-01-13	10:51	1.893	start of free span	13	31	Tidak Lolos
	01-01-13	10:55	1.906	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria $L/D < 30$

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria ($L/D < 30$)
50	18-01-13	16:37	1.912	start of free span	18	42	Tidak Lolos
	18-01-13	16:39	1.930	end of free span			
51	18-01-13	16:43	1.957	start of free span	14	33	Tidak Lolos
	18-01-13	16:44	1.971	end of free span			
52	18-01-13	16:51	2.039	start of free span	27	64	Tidak Lolos
	18-01-13	16:54	2.066	end of free span			
53	18-01-13	16:56	2.092	start of free span	8	19	Lolos
	17-01-13	16:37	2.100	end of free span			
54	17-01-13	16:38	2.108	start of free span	5	12	Lolos
	17-01-13	16:39	2.113	end of free span			
55	17-01-13	16:40	2.115	start of free span	31	73	Tidak Lolos
	17-01-13	16:48	2.146	end of free span			
56	17-01-13	16:50	2.152	start of free span	12	28	Lolos
	17-01-13	16:52	2.164	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
57	17-01-13	16:53	2.179	start of free span	7	16	Lolos
	17-01-13	16:55	2.186	end of free span			
58	17-01-13	16:58	2.200	start of free span	2	5	Lolos
	17-01-13	16:59	2.202	end of free span			
59	17-01-13	17:00	2.204	start of free span	9	21	Lolos
	17-01-13	17:03	2.213	end of free span			
60	17-01-13	17:06	2.244	start of free span	4	9	Lolos
	17-01-13	17:07	2.248	end of free span			
61	17-01-13	17:09	2.264	start of free span	15	35	Tidak Lolos
	17-01-13	17:11	2.279	end of free span			
62	17-01-13	17:16	2.321	start of free span	1	2	Lolos
	17-01-13	17:17	2.322	end of free span			
63	17-01-13	17:20	2.336	start of free span	23	54	Tidak Lolos
	17-01-13	17:22	2.359	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
64	17-01-13	17:24	2.384	start of free span	6	14	Lolos
	17-01-13	17:26	2.390	end of free span			
65	17-01-13	17:30	2.412	start of free span	16	38	Tidak Lolos
	17-01-13	17:32	2.428	end of free span			
66	17-01-13	17:33	2.440	start of free span	13	31	Tidak Lolos
	17-01-13	17:35	2.453	end of free span			
67	19-01-13	07:39	2.501	start of free span	10	24	Lolos
	19-01-13	07:40	2.511	end of free span			
68	19-01-13	07:42	2.535	start of free span	14	33	Tidak Lolos
	19-01-13	07:44	2.549	end of free span			
69	19-01-13	07:57	2.580	start of free span	3	7	Lolos
	19-01-13	07:58	2.583	end of free span			
70	19-01-13	07:59	2.596	start of free span	4	9	Lolos
	19-01-13	08:01	2.600	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
71	19-01-13	08:03	2.603	start of free span	5	12	Lolos
	19-01-13	08:04	2.608	end of free span			
72	19-01-13	08:05	2.632	start of free span	23	54	Tidak Lolos
	19-01-13	08:11	2.655	end of free span			
73	19-01-13	08:13	2.679	start of free span	1	2	Lolos
	19-01-13	08:14	2.680	end of free span			
74	19-01-13	08:15	2.695	start of free span	17	40	Tidak Lolos
	01-01-13	13:34	2.712	end of free span			
75	01-01-13	13:41	2.764	start of free span	6	14	Lolos
	01-01-13	13:43	2.770	end of free span			
76	01-01-13	13:47	2.789	start of free span	7	16	Lolos
	01-01-13	13:50	2.796	end of free span			
77	01-01-13	13:52	2.806	start of free span	14	33	Tidak Lolos
	01-01-13	13:57	2.820	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
78	01-01-13	14:01	2.839	start of free span	27	64	Tidak Lolos
	01-01-13	14:07	2.866	end of free span			
79	01-01-13	14:10	2.871	start of free span	10	24	Lolos
	01-01-13	14:15	2.881	end of free span			
80	01-01-13	15:13	2.914	start of free span	24	56	Tidak Lolos
	01-01-13	15:17	2.938	end of free span			
81	01-01-13	15:19	2.953	start of free span	11	26	Lolos
	01-01-13	15:21	2.964	end of free span			
82	01-01-13	15:22	2.969	start of free span	17	40	Tidak Lolos
	01-01-13	15:25	2.986	end of free span			
83	01-01-13	15:29	3.000	Start of Free span	30	71	Tidak Lolos
	01-01-13	15:35	3.030	end of free span			
84	01-01-13	15:38	3.033	start of free span	18	42	Tidak Lolos
	01-01-13	15:41	3.051	end of free span			
85	01-01-13	15:44	3.072	start of free span	7	16	Lolos
	01-01-13	15:47	3.079	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
86	01-01-13	15:53	3.118	start of free span	29	68	Tidak Lolos
	01-01-13	15:58	3.147	end of free span			
87	01-01-13	15:59	3.151	start of free span	27	64	Tidak Lolos
	01-01-13	16:04	3.178	end of free span			
88	02-01-13	14:03	3.212	start of free span	23	54	Tidak Lolos
	02-01-13	14:06	3.235	end of free span			
89	03-01-13	10:41	3.250	start of free span	21	49	Tidak Lolos
	03-01-13	10:44	3.271	end of free span and opened field			
90	03-01-13	10:47	3.289	start of free span	11	26	Lolos
	03-01-13	10:48	3.300	End of Free span			
91	03-01-13	10:56	3.362	start of free span	18	42	Tidak Lolos
	03-01-13	10:59	3.380	end of free span and opened field			
92	03-01-13	11:02	3.400	Start of Free span	23	54	Tidak Lolos
	03-01-13	11:05	3.423	end of free span			
93	03-01-13	11:08	3.437	start of free span	9	21	Lolos
	03-01-13	11:10	3.446	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
94	03-01-13	11:12	3.466	start of free span	12	28	Lolos
	03-01-13	11:14	3.478	end of free span			
95	03-01-13	11:17	3.500	Start of Free span	18	42	Tidak Lolos
	03-01-13	11:20	3.518	end of free span			
96	03-01-13	11:30	3.594	start of free span	23	54	Tidak Lolos
	03-01-13	11:34	3.617	end of free span			
97	03-01-13	11:36	3.626	start of free span	11	26	Lolos
	03-01-13	11:39	3.637	end of free span			
98	03-01-13	11:40	3.647	start of free span	5	12	Lolos
	03-01-13	11:41	3.652	end of free span			
99	03-01-13	11:48	3.732	start of free span	1	2	Lolos
	03-01-13	11:50	3.733	end of free span			
100	03-01-13	11:53	3.747	start of free span	16	38	Tidak Lolos
	03-01-13	11:54	3.763	end of free span			
101	03-01-13	11:57	3.776	start of free span	9	21	Lolos
	03-01-13	11:59	3.785	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
102	03-01-13	12:00	3.797	start of free span	18	42	Tidak Lolos
	03-01-13	12:02	3.815	end of free span			
103	03-01-13	13:34	3.833	start of free span	13	31	Tidak Lolos
	03-01-13	13:37	3.846	end of free span			
104	03-01-13	13:44	3.880	start of free span	20	47	Tidak Lolos
	03-01-13	13:47	3.900	End of Free span			
105	03-01-13	13:53	3.912	start of free span	30	71	Tidak Lolos
	03-01-13	13:59	3.942	end of free span			
106	03-01-13	13:59	3.948	start of free span	9	21	Lolos
	03-01-13	14:01	3.957	end of free span			
107	03-01-13	14:13	3.995	start of free span	12	28	Lolos
	03-01-13	14:17	4.007	end of free span			
108	03-01-13	14:25	4.051	start of free span	26	61	Tidak Lolos
	03-01-13	14:31	4.077	end of free span			
109	03-01-13	14:35	4.091	start of free span	22	52	Tidak Lolos
	03-01-13	14:47	4.113	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
110	03-01-13	17:27	4.184	start of free span	5	12	Lolos
	03-01-13	17:28	4.189	end of free span			
111	04-01-13	07:34	4.240	start of free span	17	40	Tidak Lolos
	04-01-13	07:36	4.257	end of free span			
112	04-01-13	07:38	4.266	start of free span	15	35	Tidak Lolos
	04-01-13	07:41	4.281	end of free span			
113	04-01-13	07:52	4.336	start of free span	19	45	Tidak Lolos
	04-01-13	07:54	4.355	end of free span			
114	04-01-13	08:05	4.417	start of free span	17	40	Tidak Lolos
	04-01-13	08:08	4.434	end of free span			
115	04-01-13	08:14	4.481	start of free span	10	24	Lolos
	04-01-13	08:17	4.491	end of free span			
116	04-01-13	08:20	4.503	start of free span	21	49	Tidak Lolos
	04-01-13	08:27	4.524	end of free span			
117	04-01-13	08:34	4.573	start of free span	20	47	Tidak Lolos
	04-01-13	09:53	4.593	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
118	04-01-13	10:00	4.639	start of free span	12	28	Lolos
	04-01-13	11:04	4.651	end of free span			
119	04-01-13	11:05	4.654	start of free span	11	26	Lolos
	04-01-13	11:06	4.665	end of free span			
120	04-01-13	11:09	4.689	start of free span	5	12	Lolos
	04-01-13	11:11	4.694	end of free span			
121	04-01-13	11:14	4.716	start of free span	10	24	Lolos
	04-01-13	11:16	4.726	end of free span			
122	04-01-13	11:21	4.765	start of free span	14	33	Tidak Lolos
	04-01-13	11:25	4.779	end of free span			
123	04-01-13	11:27	4.792	start of free span	23	54	Tidak Lolos
	04-01-13	11:32	4.815	end of free span			
124	04-01-13	11:33	4.818	start of free span	6	14	Lolos
	04-01-13	13:36	4.824	end of free span			
125	04-01-13	13:51	4.935	start of free span	22	52	Tidak Lolos
	04-01-13	13:55	4.957	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
126	04-01-13	13:59	4.994	start of free span	6	14	Lolos
	04-01-13	13:59	5.000	End of Free span			
127	04-01-13	14:02	5.015	start of free span	24	56	Tidak Lolos
	04-01-13	14:08	5.039	end of free span			
128	04-01-13	14:10	5.061	start of free span	15	35	Tidak Lolos
	04-01-13	14:13	5.076	end of free span			
129	04-01-13	15:35	5.124	start of free span	7	16	Lolos
	04-01-13	15:37	5.131	end of free span			
130	04-01-13	15:42	5.151	start of free span	35	82	Tidak Lolos
	04-01-13	15:43	5.186	end of free span			
131	04-01-13	15:46	5.200	Start of Free span	8	19	Lolos
	04-01-13	15:47	5.208	end of free span			
132	04-01-13	15:54	5.243	start of free span	2	5	Lolos
	04-01-13	15:55	5.245	end of free span			
133	04-01-13	16:00	5.251	start of free span	17	40	Tidak Lolos
	05-01-13	16:38	5.268	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
134	05-01-13	16:40	5.272	start of free span	11	26	Lolos
	05-01-13	16:42	5.283	end of free span			
135	05-01-13	16:43	5.288	start of free span	5	12	Lolos
	05-01-13	16:45	5.293	end of free span			
136	05-01-13	16:46	5.300	Start of Free span	28	66	Tidak Lolos
	05-01-13	16:49	5.328	end of free span			
137	05-01-13	16:50	5.331	start of free span	6	14	Lolos
	05-01-13	16:51	5.337	end of free span			
138	05-01-13	16:52	5.341	start of free span	7	16	Lolos
	05-01-13	16:55	5.348	end of free span			
139	05-01-13	16:57	5.364	start of free span	2	5	Lolos
	05-01-13	16:58	5.366	end of free span			
140	05-01-13	17:02	5.404	start of free span	15	35	Tidak Lolos
	05-01-13	17:05	5.419	end of free span			
141	05-01-13	17:06	5.422	start of free span	10	24	Lolos
	05-01-13	17:07	5.432	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
142	05-01-13	17:19	5.507	start of free span	18	42	Tidak Lolos
	05-01-13	17:23	5.525	end of free span			
143	05-01-13	17:25	5.533	start of free span	11	26	Lolos
	05-01-13	17:26	5.544	end of free span			
144	05-01-13	17:28	5.545	start of free span	5	12	Lolos
	05-01-13	17:30	5.550	end of free span			
145	05-01-13	17:32	5.577	start of free span	17	40	Tidak Lolos
	05-01-13	17:36	5.594	end of free span			
146	05-01-13	17:37	5.600	Start of Free span	20	47	Tidak Lolos
	07-01-13	07:37	5.620	end of free span			
147	07-01-13	07:38	5.621	start of free span	1	2	Lolos
	07-01-13	07:39	5.622	end of free span and debris (bag)			
148	07-01-13	07:40	5.629	start of free span	14	33	Tidak Lolos
	07-01-13	07:43	5.643	end of free span			
149	07-01-13	07:43	5.646	start of free span	5	12	Lolos
	07-01-13	07:45	5.651	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
150	07-01-13	07:47	5.666	start of free span	6	14	Lolos
	07-01-13	07:49	5.672	end of free span			
151	07-01-13	07:54	5.708	start of free span	6	14	Lolos
	07-01-13	07:56	5.714	end of free span			
152	07-01-13	08:33	5.723	start of free span	26	61	Tidak Lolos
	07-01-13	08:36	5.749	end of free span			
153	07-01-13	08:40	5.766	start of free span	16	38	Tidak Lolos
	07-01-13	08:42	5.782	end of free span			
154	07-01-13	08:43	5.787	start of free span	1	2	Lolos
	07-01-13	08:44	5.788	end of free span			
155	07-01-13	08:46	5.792	start of free span	8	19	Lolos
	07-01-13	08:48	5.800	End of Free span			
156	07-01-13	08:50	5.811	start of free span	24	56	Tidak Lolos
	07-01-13	08:53	5.835	end of free span & opened field			
157	07-01-13	09:12	5.867	start of free span	14	33	Tidak Lolos
	07-01-13	09:14	5.881	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
158	07-01-13	09:15	5.886	start of free span	20	47	Tidak Lolos
	07-01-13	09:19	5.906	end of free span			
159	07-01-13	09:21	5.914	start of free span	9	21	Lolos
	07-01-13	09:23	5.923	end of free span			
160	07-01-13	09:24	5.928	start of free span	6	14	Lolos
	07-01-13	09:27	5.934	end of free span			
161	07-01-13	09:31	5.985	start of free span	2	5	Lolos
	07-01-13	09:33	5.987	end of free span			
162	07-01-13	09:38	6.038	start of free span	14	33	Tidak Lolos
	07-01-13	09:40	6.052	end of free span			
163	07-01-13	09:44	6.060	start of free span	16	38	Tidak Lolos
	07-01-13	09:46	6.076	end of free span			
164	07-01-13	09:48	6.085	start of free span	3	7	Lolos
	07-01-13	09:50	6.088	end of free span			
165	07-01-13	09:51	6.100	Start of Free span	19	45	Tidak Lolos
	07-01-13	09:54	6.119	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
166	07-01-13	09:56	6.143	start of free span	5	12	Lolos
	07-01-13	09:58	6.148	end of free span			
167	07-01-13	10:01	6.182	start of free span	6	14	Lolos
	07-01-13	10:03	6.188	end of free span			
168	07-01-13	10:07	6.208	start of free span	1	2	Lolos
	07-01-13	10:08	6.209	end of free span			
169	07-01-13	10:09	6.210	start of free span	16	38	Tidak Lolos
	07-01-13	10:12	6.226	end of free span			
170	07-01-13	10:13	6.242	start of free span	4	9	Lolos
	07-01-13	10:15	6.246	end of free span			
171	07-01-13	10:31	6.342	start of free span	25	59	Tidak Lolos
	07-01-13	10:34	6.367	end of free span			
172	08-01-13	16:37	6.582	start of free span	18	42	Tidak Lolos
	08-01-13	16:40	6.600	End of Free span			
173	08-01-13	16:43	6.630	start of free span	31	73	Tidak Lolos
	08-01-13	16:48	6.661	end of free span			

Screening Free Span Level 1
Kriteria L/D<30

No	Date	Time	KP	Description	Length (m)	L/D	Acceptance Criteria (L/D<30)
174	08-01-13	16:55	6.707	start of free span	7	16	Lolos
	08-01-13	16:57	6.714	end of free span			
175	08-01-13	16:58	6.716	start of free span	15	35	Tidak Lolos
	08-01-13	17:00	6.731	end of free span			
176	08-01-13	17:51	6.831	start of free span	8	19	Lolos
	08-01-13	17:52	6.839	end of free span			
177	13-01-13	14:40	6.951	start of free span	4	9	Lolos
	13-01-13	14:42	6.955	end of free span			
178	15-01-13	16:04	7.331	start of free span	4	9	Lolos
	15-01-13	16:06	7.335	end of free span			
179	15-01-13	16:08	7.337	start of free span	16	38	Tidak Lolos
	17-01-13	13:48	7.353	Flange tie in (free span)			

No	Date	Time	KP	Length (m)	Depth	L/D	fn	V _R	L _{CF}	Critical ?	L _{IL}	Critical ?
1	18-01-13	07:42	0.000	26	55	73	2,007	0,57	40,004	No	22,996	Yes
	18-01-13	09:06	0.026									
2	18-01-13	09:08	0.034	15	55	42	6,030	0,19	23,079	No	7,654	Yes
	18-01-13	09:11	0.049									
3	18-01-13	11:12	0.056	15	55	42	6,030	0,19	23,079	No	7,654	Yes
	18-01-13	11:15	0.071									
4	18-01-13	11:24	0.089	11	55	31	11,213	0,10	16,925	No	4,116	Yes
	18-01-13	11:30	0.100									
5	18-01-13	15:26	0.152	15	55	42	6,030	0,19	23,079	No	7,654	Yes
	18-01-13	15:28	0.167									
6	17-01-13	07:57	0.523	31	55	87	1,412	0,82	47,697	No	32,691	No
	17-01-13	07:52	0.554									
7	16-01-13	11:36	0.625	14	55	39	6,922	0,17	21,540	No	6,667	Yes
	16-01-13	11:39	0.639									
8	16-01-13	11:59	0.706	23	55	65	2,565	0,45	35,388	No	17,995	Yes
	16-01-13	12:06	0.729									

No	Date	Time	KP	Length (m)	Depth	L/D	fn	V _R	L _{CF}	Critical ?	L _{IL}	Critical ?
9	16-01-13	12:19	0.795	11	55	31	11,213	0,10	16,925	No	4,116	Yes
	16-01-13	12:23	0.806									
10	16-01-13	12:35	0.904	13	55	37	8,028	0,14	20,002	No	5,749	Yes
	16-01-13	12:37	0.917									
11	16-01-13	12:46	0.976	12	55	34	9,422	0,12	18,463	No	4,898	Yes
	16-01-13	12:47	0.988									
12	31-12-12	11:54	1.038	13	55	37	8,028	0,14	20,002	No	5,749	Yes
	31-12-12	11:56	1.051									
13	31-12-12	11:59	1.062	23	55	65	2,565	0,45	35,388	No	17,995	Yes
	31-12-12	12:04	1.085									
14	31-12-12	14:28	1.187	13	55	37	8,028	0,14	20,002	No	5,749	Yes
	31-12-12	14:38	1.200									
15	31-12-12	14:58	1.277	15	55	42	6,030	0,19	23,079	No	7,654	Yes
	31-12-12	15:02	1.292									
16	01-01-13	09:08	1.346	21	55	59	3,077	0,38	32,311	No	15,002	Yes
	01-01-13	09:10	1.367									

No	Date	Time	KP	Length (m)	Depth	L/D	fn	V _R	L _{CF}	Critical ?	L _{IL}	Critical ?
17	01-01-13	09:14	1.389	15	55	42	6,030	0,19	23,079	No	7,654	Yes
	01-01-13	09:19	1.404									
18	01-01-13	09:29	1.443	21	55	59	3,077	0,38	32,311	No	15,002	Yes
	01-01-13	09:33	1.464									
19	01-01-13	09:46	1.544	21	55	59	3,077	0,38	32,311	No	15,002	Yes
	01-01-13	09:49	1.565									
20	01-01-13	09:52	1.587	13	55	37	8,028	0,14	20,002	No	5,749	Yes
	01-01-13	09:55	1.600									
21	01-01-13	10:02	1.633	12	55	34	9,422	0,12	18,463	No	4,898	Yes
	01-01-13	10:04	1.645									
22	01-01-13	10:09	1.675	25	55	70	2,171	0,53	38,465	No	21,261	Yes
	01-01-13	10:12	1.700									
23	01-01-13	10:25	1.783	12	55	34	9,422	0,12	18,463	No	4,898	Yes
	01-01-13	10:28	1.795									
24	01-01-13	10:34	1.808	36	55	101	1,047	1,10	55,390	No	44,086	No
	01-01-13	10:42	1.844									

No	Date	Time	KP	Length (m)	Depth	L/D	f _n	V _R	L _{CF}	Critical ?	L _{IL}	Critical ?
25	01-01-13	10:51	1.893	13	55	37	8,028	0,14	20,002	No	5,749	Yes
	01-01-13	10:55	1.906									
26	18-01-13	16:37	1.912	18	55	51	4,188	0,28	27,695	No	11,022	Yes
	18-01-13	16:39	1.930									
27	18-01-13	16:43	1.957	14	55	39	6,922	0,17	21,540	No	6,667	Yes
	18-01-13	16:44	1.971									
28	18-01-13	16:51	2.039	27	55	76	1,861	0,62	41,542	No	24,799	Yes
	18-01-13	16:54	2.066									
29	17-01-13	16:40	2.115	31	55	87	1,412	0,82	47,697	No	32,691	No
	17-01-13	16:48	2.146									
30	17-01-13	16:50	2.152	12	55	34	9,422	0,12	18,463	No	4,898	Yes
	17-01-13	16:52	2.164									
31	17-01-13	17:09	2.264	15	55	42	6,030	0,19	23,079	No	7,654	Yes
	17-01-13	17:11	2.279									
32	17-01-13	17:20	2.336	23	55	65	2,565	0,45	35,388	No	17,995	Yes
	17-01-13	17:22	2.359									

No	Date	Time	KP	Length (m)	Depth	L/D	fn	V _R	L _{CF}	Critical ?	L _{IL}	Critical ?
33	17-01-13	17:30	2.412	16	55	45	5,300	0,22	24,618	No	8,708	Yes
	17-01-13	17:32	2.428									
34	17-01-13	17:33	2.440	13	55	37	8,028	0,14	20,002	No	5,749	Yes
	17-01-13	17:35	2.453									
35	19-01-13	07:42	2.535	14	55	39	6,922	0,17	21,540	No	6,667	Yes
	19-01-13	07:44	2.549									
36	19-01-13	08:05	2.632	23	55	65	2,565	0,45	35,388	No	17,995	Yes
	19-01-13	08:11	2.655									
37	19-01-13	08:15	2.695	17	55	48	4,695	0,25	26,156	No	9,831	Yes
	01-01-13	13:34	2.712									
38	01-01-13	13:52	2.806	14	55	39	6,922	0,17	21,540	No	6,667	Yes
	01-01-13	13:57	2.820									
39	01-01-13	14:01	2.839	27	55	76	1,861	0,62	41,542	No	24,799	Yes
	01-01-13	14:07	2.866									
40	01-01-13	15:13	2.914	24	55	67	2,355	0,49	36,926	No	19,594	Yes
	01-01-13	15:17	2.938									

No	Date	Time	KP	Length (m)	Depth	L/D	fn	V _R	L _{CF}	Critical ?	L _{IL}	Critical ?
41	01-01-13	15:19	2.953	11	55	31	11,213	0,10	16,925	No	4,116	Yes
	01-01-13	15:21	2.964									
42	01-01-13	15:22	2.969	17	55	48	4,695	0,25	26,156	No	9,831	Yes
	01-01-13	15:25	2.986									
43	01-01-13	15:29	3.000	30	60	84	1,508	0,77	46,158	No	30,616	No
	01-01-13	15:35	3.030									
44	01-01-13	15:38	3.033	18	60	51	4,188	0,28	27,695	No	11,022	Yes
	01-01-13	15:41	3.051									
45	01-01-13	15:53	3.118	29	60	82	1,613	0,72	44,619	No	28,608	Yes
	01-01-13	15:58	3.147									
46	01-01-13	15:59	3.151	27	60	76	1,861	0,62	41,542	No	24,799	Yes
	01-01-13	16:04	3.178									
47	02-01-13	14:03	3.212	23	60	65	2,565	0,45	35,388	No	17,995	Yes
	02-01-13	14:06	3.235									
48	03-01-13	10:41	3.250	21	60	59	3,077	0,38	32,311	No	15,002	Yes
	03-01-13	10:44	3.271									

No	Date	Time	KP	Length (m)	Depth	L/D	fn	V _R	L _{CF}	Critical ?	L _{IL}	Critical ?
49	03-01-13	10:47	3.289	11	60	31	11,213	0,10	16,925	No	4,116	Yes
	03-01-13	10:48	3.300									
50	03-01-13	10:56	3.362	18	60	51	4,188	0,28	27,695	No	11,022	Yes
	03-01-13	10:59	3.380									
51	03-01-13	11:02	3.400	23	60	65	2,565	0,45	35,388	No	17,995	Yes
	03-01-13	11:05	3.423									
52	03-01-13	11:12	3.466	12	60	34	9,422	0,12	18,463	No	4,898	Yes
	03-01-13	11:14	3.478									
53	03-01-13	11:17	3.500	18	60	51	4,188	0,28	27,695	No	11,022	Yes
	03-01-13	11:20	3.518									
54	03-01-13	11:30	3.594	23	60	65	2,565	0,45	35,388	No	17,995	Yes
	03-01-13	11:34	3.617									
55	03-01-13	11:36	3.626	11	60	31	11,213	0,10	16,925	No	4,116	Yes
	03-01-13	11:39	3.637									
56	03-01-13	11:53	3.747	16	60	45	5,300	0,22	24,618	No	8,708	Yes
	03-01-13	11:54	3.763									

No	Date	Time	KP	Length (m)	Depth	L/D	fn	V _R	L _{CF}	Critical ?	L _{IL}	Critical ?
57	03-01-13	12:00	3.797	18	60	51	4,188	0,28	27,695	No	11,022	Yes
	03-01-13	12:02	3.815									
58	03-01-13	13:34	3.833	13	60	37	8,028	0,14	20,002	No	5,749	Yes
	03-01-13	13:37	3.846									
59	03-01-13	13:44	3.880	20	60	56	3,392	0,34	30,772	No	13,607	Yes
	03-01-13	13:47	3.900									
60	03-01-13	13:53	3.912	30	60	84	1,508	0,77	46,158	No	30,616	No
	03-01-13	13:59	3.942									
61	03-01-13	14:13	3.995	12	60	34	9,422	0,12	18,463	No	4,898	Yes
	03-01-13	14:17	4.007									
62	03-01-13	14:25	4.051	26	60	73	2,007	0,57	40,004	No	22,996	Yes
	03-01-13	14:31	4.077									
63	03-01-13	14:35	4.091	22	60	62	2,803	0,41	33,849	No	16,464	Yes
	03-01-13	14:47	4.113									
64	04-01-13	07:34	4.240	17	60	48	4,695	0,25	26,156	No	9,831	Yes
	04-01-13	07:36	4.257									

No	Date	Time	KP	Length (m)	Depth	L/D	fn	V _R	L _{CF}	Critical ?	L _{IL}	Critical ?
65	04-01-13	07:38	4.266	15	60	42	6,030	0,19	23,079	No	7,654	Yes
	04-01-13	07:41	4.281									
66	04-01-13	07:52	4.336	19	60	53	3,758	0,31	29,233	No	12,280	Yes
	04-01-13	07:54	4.355									
67	04-01-13	08:05	4.417	17	60	48	4,695	0,25	26,156	No	9,831	Yes
	04-01-13	08:08	4.434									
68	04-01-13	08:20	4.503	21	60	59	3,077	0,38	32,311	No	15,002	Yes
	04-01-13	08:27	4.524									
69	04-01-13	08:34	4.573	20	60	56	3,392	0,34	30,772	No	13,607	Yes
	04-01-13	09:53	4.593									
70	04-01-13	10:00	4.639	12	60	34	9,422	0,12	18,463	No	4,898	Yes
	04-01-13	11:04	4.651									
71	04-01-13	11:05	4.654	11	60	31	11,213	0,10	16,925	No	4,116	Yes
	04-01-13	11:06	4.665									
72	04-01-13	11:21	4.765	14	60	39	6,922	0,17	21,540	No	6,667	Yes
	04-01-13	11:25	4.779									

No	Date	Time	KP	Length (m)	Depth	L/D	fn	V _R	L _{CF}	Critical ?	L _{IL}	Critical ?
73	04-01-13	11:27	4.792	23	60	65	2,565	0,45	35,388	No	17,995	Yes
	04-01-13	11:32	4.815									
74	04-01-13	13:51	4.935	22	60	62	2,803	0,41	33,849	No	16,464	Yes
	04-01-13	13:55	4.957									
75	04-01-13	14:02	5.015	24	60	67	2,355	0,49	36,926	No	19,594	Yes
	04-01-13	14:08	5.039									
76	04-01-13	14:10	5.061	15	60	42	6,030	0,19	23,079	No	7,654	Yes
	04-01-13	14:13	5.076									
77	04-01-13	15:42	5.151	35	60	98	1,108	1,04	53,851	No	41,671	No
	04-01-13	15:43	5.186									
78	04-01-13	16:00	5.251	17	60	48	4,695	0,25	26,156	No	9,831	Yes
	05-01-13	16:38	5.268									
79	05-01-13	16:40	5.272	11	60	31	11,213	0,10	16,925	No	4,116	Yes
	05-01-13	16:42	5.283									
80	05-01-13	16:46	5.300	28	60	79	1,731	0,67	43,081	No	26,670	Yes
	05-01-13	16:49	5.328									

No	Date	Time	KP	Length (m)	Depth	L/D	fn	V _R	L _{CF}	Critical ?	L _{IL}	Critical ?
81	05-01-13	17:02	5.404	15	60	42	6,030	0,19	23,079	No	7,654	Yes
	05-01-13	17:05	5.419									
82	05-01-13	17:19	5.507	18	60	51	4,188	0,28	27,695	No	11,022	Yes
	05-01-13	17:23	5.525									
83	05-01-13	17:25	5.533	11	60	31	11,213	0,10	16,925	No	4,116	Yes
	05-01-13	17:26	5.544									
84	05-01-13	17:32	5.577	17	60	48	4,695	0,25	26,156	No	9,831	Yes
	05-01-13	17:36	5.594									
85	05-01-13	17:37	5.600	20	60	56	3,392	0,34	30,772	No	13,607	Yes
	07-01-13	07:37	5.620									
86	07-01-13	07:40	5.629	14	60	39	6,922	0,17	21,540	No	6,667	Yes
	07-01-13	07:43	5.643									
87	07-01-13	08:33	5.723	26	60	73	2,007	0,57	40,004	No	22,996	Yes
	07-01-13	08:36	5.749									
88	07-01-13	08:40	5.766	16	60	45	5,300	0,22	24,618	No	8,708	Yes
	07-01-13	08:42	5.782									

No	Date	Time	KP	Length (m)	Depth	L/D	fn	V _R	L _{CF}	Critical ?	L _{IL}	Critical ?
89	07-01-13	08:50	5.811	24	60	67	2,355	0,49	36,926	No	19,594	Yes
	07-01-13	08:53	5.835									
90	07-01-13	09:12	5.867	14	60	39	6,922	0,17	21,540	No	6,667	Yes
	07-01-13	09:14	5.881									
91	07-01-13	09:15	5.886	20	60	56	3,392	0,34	30,772	No	13,607	Yes
	07-01-13	09:19	5.906									
92	07-01-13	09:38	6.038	14	66	39	6,922	0,17	21,540	No	6,667	Yes
	07-01-13	09:40	6.052									
93	07-01-13	09:44	6.060	16	66	45	5,300	0,22	24,618	No	8,708	Yes
	07-01-13	09:46	6.076									
94	07-01-13	09:51	6.100	19	66	53	3,758	0,31	29,233	No	12,280	Yes
	07-01-13	09:54	6.119									
95	07-01-13	10:09	6.210	16	66	45	5,300	0,22	24,618	No	8,708	Yes
	07-01-13	10:12	6.226									
96	07-01-13	10:31	6.342	25	66	70	2,171	0,53	38,465	No	21,261	Yes
	07-01-13	10:34	6.367									

No	Date	Time	KP	Length (m)	Depth	L/D	fn	V _R	L _{CF}	Critical ?	L _{IL}	Critical ?
97	08-01-13	16:37	6.582	18	66	51	4,188	0,28	27,695	No	11,022	Yes
	08-01-13	16:40	6.600									
98	08-01-13	16:43	6.630	31	66	87	1,412	0,82	47,697	No	32,691	No
	08-01-13	16:48	6.661									
99	08-01-13	16:58	6.716	15	66	42	6,030	0,19	23,079	No	7,654	Yes
	08-01-13	17:00	6.731									
100	15-01-13	16:08	7.337	16	66	45	5,300	0,22	24,618	No	8,708	Yes
	17-01-13	13:48	7.353									

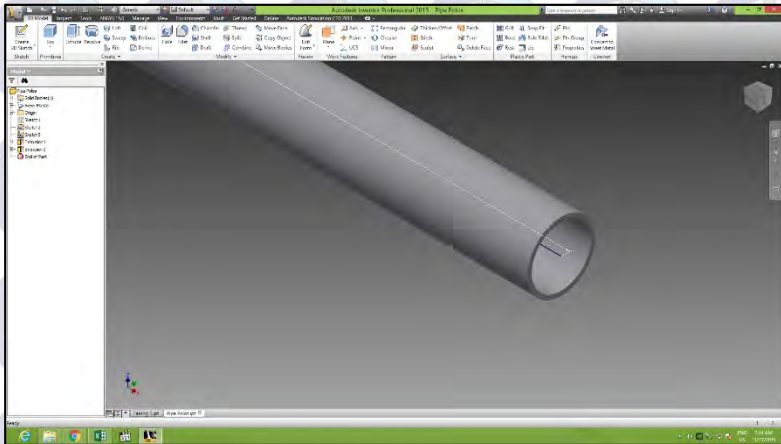
Simulasi Free Span

Deskripsi

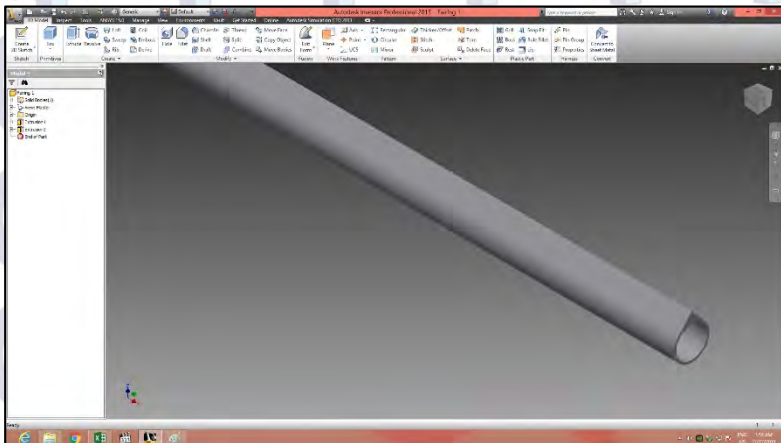
- Simulasi dilakukan pada free span yang dianggap kritis setelah dilakukan screening geometri $L/D < 30$ dan screening panjang maksimum pada kondisi *In-Line* dan Kondisi *Cross Flow*.
- Spesifikasi Free Span
 - Posisi : KP 3.118 sampai dengan KP 3.147
 - Panjang : 29 meter
 - Dia. dalam : 327 mm = 0,327 meter
 - Dia. luar : 424.6 mm = 0.425 meter
 - Kedalaman : 60 meter
- Simulasi dilakukan sebanyak tiga kali, yaitu :
 1. Pipa polos
 2. Pipa dengan fairing
 3. Pipa dengan Helical
- Dimensi *suppression device*
 - Fairing
 - Chord (ujung ekor) = $1.5 D = 0.638$ meter
 - Helical
 - Tinggi Fin = $0.25 D = 0.11$ meter
 - Pitch = $17.5 D = 7.4375$ meter

Geometry

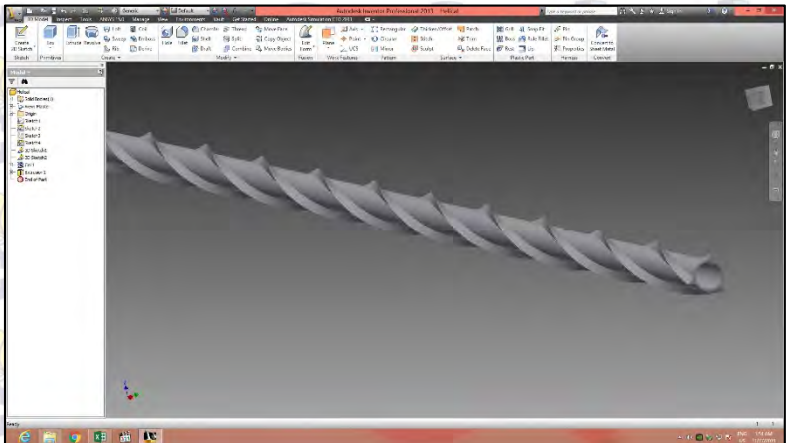
Pembuatan model dilakukan menggunakan software Adobe Inventor untuk mempermudah modelling terutama pipa dengan suppression device jenis Helical. Hasil dari modelling kemudian di export ke modelling ansys dengan ekstensi file **.igs**



Nama model : Pipa Polos.igs

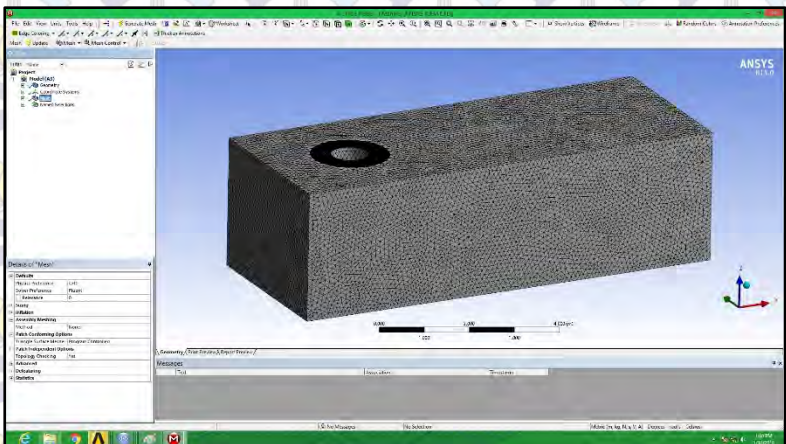


Nama model : Pipa Fairing.igs

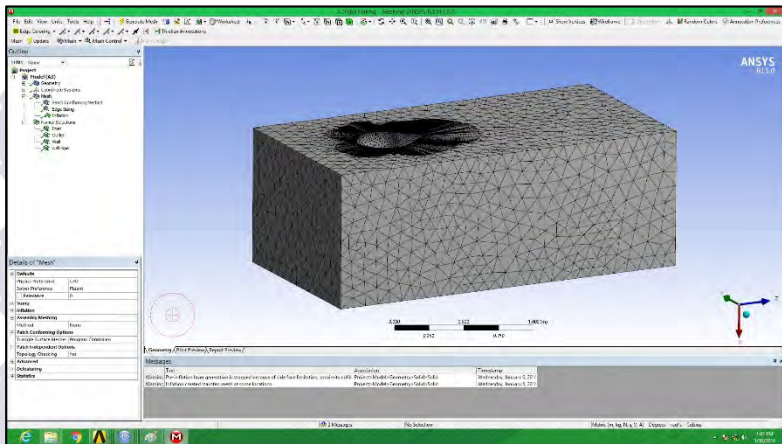


Nama model : Pipa Helical.igs

Setting Mesh



Meshing Pipa Polos



Gambar proses meshing pipa fairing

Mesh information :

1	Boundary	3 faces
2	First layer height	1.10^{-2}
3	Maximum layer	50
4	Growth Rate	1
5	Method	Tetrahedrons
6	Element size	1.10^{-2}

Result

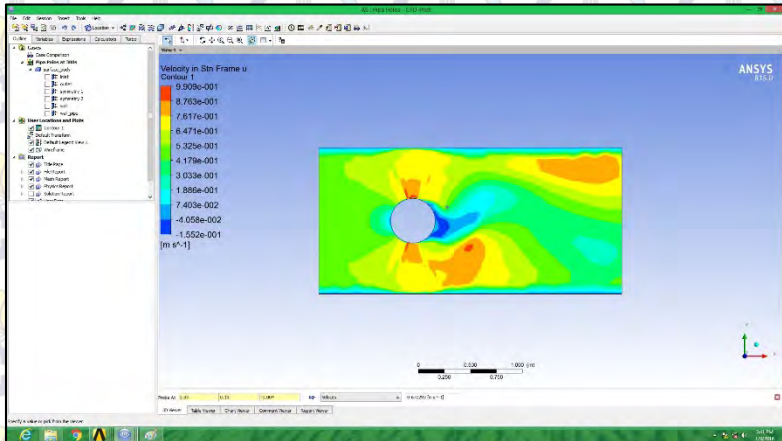
Karena nilai VR akan dibandingkan maka pengambilan titik tinjauan dilakukan pada titik yang sama. Titik Tinjauan dilakukan pada daerah *vortex* yaitu :

Probe at :

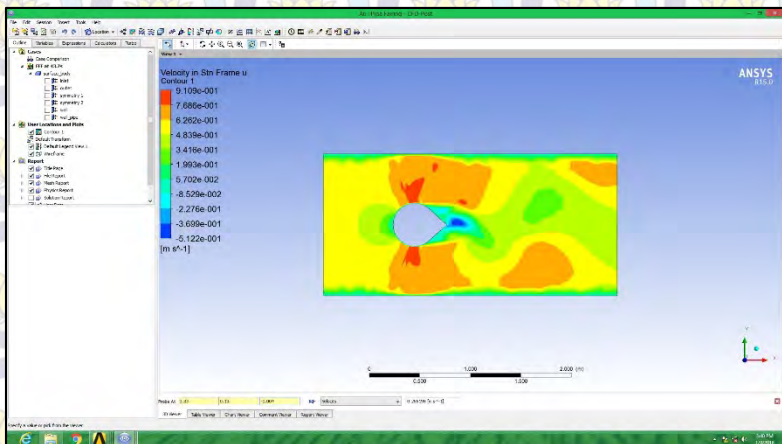
X = 0.33

Y = 0.13

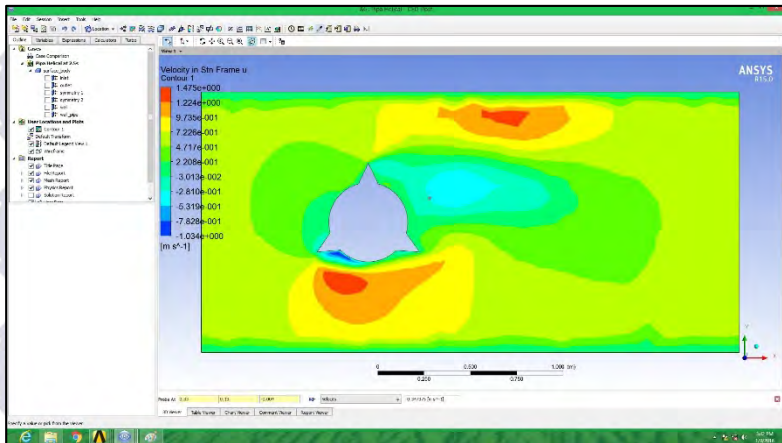
$$Z = -0.004$$



Hasil :
Kecepatan = 0.67 m/s



Hasil :
Kecepatan = 0.36 m/s



Hasil :
Kecepatan = 0.34 m/s

BIODATA PENULIS



Penulis, Anang Abdullah dilahirkan di kota Pekalongan pada tanggal 19 Juli 1992. Penulis adalah putra ketiga dari 4 bersaudara dari pasangan Ma'fudz dan Siti Sofiyah. Sejarah pendidikan penulis dimulai dari MIN Kedungwuni kemudian melanjutkan ke MtsN Kedungwuni. Pada pendidikan menengah keatas, penulis melanjutkan studi ke SMA Negeri 3 Pekalongan, kemudian melanjutkan pendidikan di salah satu Institut terbaik di Indonesia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, tepatnya di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan melalui jalur masuk SNMPTN Undangan pada tahun 2012. Di jurusan Teknik Sistem Perkapalan penulis mengambil bidang studi Marine Machinery And System (MMS). Penulis mempunyai hobi fotografi yang digeluti semenjak masuk kuliah, pernah berkarir sebagai Fotojurnalis di ITS Online.

“Yang penting ngerti Sholat pasti hidup enak”.

Email : ananglutfiabdullah@gmail.com

HP : 0858 6735 0347